Aus der Chirurgischen Universitätsklinik Berlin, Ziegelstraße.

Beiträge zur Wundballistik

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der

Medizinischen Doktorwürde

an der

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

vorgelegt von

Edmund Wilms

aus Herford

Tag der Promotion: 24. 8. 1938

Druck: Karl u. Richard Hoffmann, Bln.-Charlottenburg, Schillerstr. 44.

M 25

Gedruckt mit Genehmigung

der

Medizinischen Fakultät der Universität Berlin

Dekan: Prof. Dr. Siebeck
Referent: Doz. Dr. Haase
Korreferent: Prof. Dr. Rostock

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Beiträge zur Wundballistik

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543927_0108

I. Einleitung.

Geschosse sind Körper sehr verschiedener Art, die mit Geschwindigkeiten ausgestattet sind, wie wir sie nur durch Explosionsmittel erzielen können. Ihre Bewegung, Richtung und Größe ihrer Energien und andere Eigenschaften unterliegen Gesetzmäßigkeiten, die in dieser Art praktisch nur bei Geschossen vorkommen. Sie sind daher Gegenstand einer besonderen Wissenschaft, der Ballistik. Diese ist ein wehrwissenschaftliches Fach, sofern sie sich mit der Verhaltensweise der Geschosse innerhalb der Waffe, auf der Flugbahn und in Zielen allgemeiner Art beschäftigt. Man unterteilt sie demgemäß in eine innere und äußere Ballistik. Verhalten und Auswirkungen der Geschosse in dem militärisch bezweckten Ziel, dem menschlichen Körper, unterliegen praktisch völlig anderen Gesichtspunkten als etwa die Gestalt der Flugbahn in der Luft. Im Körper sind Medien verschiedenster physikalischer Natur in kompliziertem Verband zusammengefaßt. Der militärische Ballistiker würde bei Berechnungsversuchen an den so vielgestaltigen Schußverletzungen auf Schwierigkeiten stoßen, die nur durch ein genaues medizinisches Wissen zu beherrschen sind. Die Auswirkungen der Geschoßenergien müssen zudem je nach der physiologischen Bedeutung der in Mitleidenschaft gezogenen Gewebe und Organe gewertet werden. Die rein räumliche Ausdehnung ist gegenüber dieser funktionellen Wertung der Geschoßwirkung meist nebensächlich. Der Kriegschirurg muß die Prognose und die Therapie, die Beurteilung der Infektionsmöglichkeit und zahlreiche andere Fragen von der Natur der vorliegenden Verwundung abhängig machen. Alle ballistisch möglichen inneren Schäden müssen ihm aus der Inspektion der äußeren Defekte gegenwärtig und verständlich sein. Darum ist die Lehre von der Wunden verursachenden Geschoßwirkung eine chirurgische Wissenschaft. Sie ist m. E. treffend als Wundballistik zu bezeichnen. Dieses Wort umgreift das Gebiet der jungen Wissenschaft besser als die Formulierung „wound ballistics" bei G. R. Callender und R. W. French (55),

Die Wundballistik hat die Untersuchung der Entstehungsweise jeder Art von Geschoßwirkung namentlich im menschlichen, aber auch im tierischen Körper zum Gegenstand. Sie ist das ätiologische Lehrfach der Kriegschirurgie. Ihr Gebiet kann m. E. zwanglos folgender Zweiteilung unterworfen werden.

1. Die allgemeine Wundballistik

basiert darauf, daß die verschiedenen Gewebearten in allen Körperteilen in ähnlicher Form wiederkehren. Unter Außerachtlassung aller topographischen Besonderheiten befaßt sie sich mit den allgemeinen Gesetzmäßigkeiten wundballistischer Vorgänge. Soweit der Wirkungsablauf von Schußverletzungen durch Filmaufnahmen unmittelbar beobachtet wurde, sind die bisherigen Ergebnisse derartiger Untersuchungen vorwiegend der allgemeinen Wundballistik zuzuordnen.

2. Die spezielle Wundballistik

hat die theoretische und experimentelle Deutung und die systematisierende Beschreibung topographisch bedingter, gleichsam typischer Verletzungsformen zum Gegenstand.

Die Bewegungen der Geschosse im Körper unterliegen genau denselben Gesetzen wie in beliebigen anderen Medien, z. B. in der Luft, in Panzerplatten etc. Die Widerstandsenergien sind in den Geweben von gleicher Natur wie in entsprechenden unbelebten Medien. Nur die Größenordnung dieser Widerstandsqualitäten zeigt in den einzelnen Geweben bestimmte Formen, die wohl zwischen den Organen, aber nicht wesentlich zwischen gleichen Organen verschiedener Menschen wechseln. Daher finden sich die Grundgesetze, nach denen sich das Geschoß im Körper verhält, bereits in der wehrwissenschaftlichen Ballistik. Der Wundballistiker hat sie dieser zu entnehmen. Die Anwendung der Gesetze erfährt in der Wundballistik eine besondere Ausprägung.

Der Wundballistiker hat zu untersuchen, inwieweit die Gewebe des menschlichen Körpers Eigentümlichkeiten aufweisen, die bei der Entstehung einer Schußwunde zur Gel-

tung kommen. Im allgemeinen sind diese physikalischen Eigenschaften von der Physiologie bereits zahlenmäßig exakt erfaßt worden und ihr zu entnehmen.

Das zentrale wundballistische Gebiet wird bestimmt durch die Gesetzmäßigkeiten des Zusammenwirkens zwischen den Eigenschaften der fliegenden Geschosse einerseits und den wundballistisch in Reaktion tretenden Eigenschaften der Gewebe andererseits.

Die geschichtliche Entwicklung zeigt, daß zahllose Versuche unternommen wurden, den Mechanismus der Geschoßwirkung zu enträtseln. Den Anlaß gab im wesentlichen die Entwicklung der modernen kleinkalibrigen Handfeuerwaffen. Sehr viele experimentelle Untersuchungen mit widersprechendsten Ergebnissen lagen bereits vor, als 1894 Coler und v. Schjerning (66) im Auftrage der Med. Abt. des Kgl. Preuß. Kriegsministeriums umfassende Versuche veröffentlichten. Sie konnten entscheidend die Grundfragen klären. Ihnen gelang es, durch den Beschuß von Tieren, Leichen, Gefäßen und Gegenständen verschiedenster Art sowie durch die nachträgliche Schußanalyse in Zusammenwirkung mit mathematischen Berechnungen die bestehenden wundballistischen Fragen soweit zu beantworten, wie die angewandten Methoden es ermöglichten. Nach dieser für die Wundballistik grundlegenden Arbeit wurden mit gleichen Mitteln keine grundsätzlich neuen Ergebnisse erzielt. Viele spätere Untersucher brachten neuartige Formulierungen über Einzelheiten des Wirkungsmechanismus. Wie schon vor Coler und v. Schjerning weisen auch später recht zahlreiche Arbeiten Verwechslungen oder unscharfe Anwendungen physikalischer Begriffe auf. Noch 1935 sehen Callender und French (55) die Erklärung explosiver Geschoßwirkungen in hydraulischen Druckerhöhungen. Coler und v. Schjerning haben dagegen 1894 schon abschließend bewiesen, daß hydraulische Vorgänge durch Geschosse im allgemeinen nicht ausgelöst werden können. Ebenso ist es mit einer Reihe weiterer Probleme, deren Bearbeiter oft nicht die Kenntnis längst vor ihnen veröffentlichter, abschließender und exakt beweisender Lösungen der Fragen hatten. Im Folgenden wird auf eine Darstellung des Wechsels der Meinungen verzichtet,

Ein neues Moment trugen Kranzfelder und Schwinning (184) 1903 in die Entwicklung der Wundballistik. Die von Schwinning erfundene Apparatur einer Mehrfach-Funkenfotografie gestattete die Beobachtung eines Schußvorganges in einer kleinen Serie sehr schnell hintereinander aufgenommener Schattenfotografien. Durch diese neue Methode konnten viele bis dahin unbekannte oder nur vermutete Regeln unmittelbar abgelesen werden. Andere wurden einer Korrektur unterworfen.

In der Wundballistik standen neben mathematischen Berechnungen und theoretischen Ableitungen immer Meinungen, die sich aus Statistiken ergaben. Derartige statistische Deduktionen über Geschoßwirkungen bilden einen sehr hohen Prozentsatz der vorliegenden wundballastischen Literatur. Sie können nicht als feststehende Ergebnisse betrachtet werden. Statistiken bieten höchstens die Berechtigung zur Aufstellung wundballistischer Hypothesen, sofern man darunter Annahmen versteht, die nicht bewiesen sind, die einen gegebenen Tatbestand aber allseitig erklären.

Wie praktisch bedeutsam für unser Gebiet die klare Unterscheidung zwischen bewiesenen Theorien einerseits und Hypothesen andererseits ist, zeigt die Geschichte der Kriegschirurgie. In der Nachkriegsliteratur finden sich fast so viele Bejahungen wie Verneinungen der Frage, ob der Krieg uns zu einer Korrektur unserer Auffassungen von der Geschoßwirkung gezwungen hat. Die nähere Untersuchung der Bearbeitungen dieser Frage zeigte mir, daß keine einzige wundballistische Theorie oder Regel versagt hat. All die zahlreichen Geschoßwirkungen, die unerwartet zur Beobachtung kamen und zunächst unverständlich erschienen, widersprachen immer nur unbewiesenen Hypothesen, die durch statistische Deduktionen in früheren Kriegen entstanden waren. Als typisches Beispiel sei die Prognose der Bauchschüsse angeführt. Goldammer (128) hatte bei wahrscheinlich anderen Kalibern, als im Kriege verwendet wurden, von 30 Bauchschüssen 27 spontan heilen sehen. Es war gefolgert worden, daß Bauchschüsse grundsätzlich konservativ zu behandeln seien. Die Weltkriegserfahrung enttäuschte bitter die an diese oder ähnliche

Mitteilungen geknüpften Erwartungen. Die Rückwirkungen der Ueberwertung stitistischer Hypothesen auf die organisatorische Vorsorge waren zwangsläufig negative.

In der vorliegenden Arbeit wurde im allgemeinen darauf verzichtet, die zahllosen, rein statistischen Schlußfolgerungen der wundballistischen Literatur darzustellen.

II. Allgemeine Wundballistik.

1. Größe und Ansatzrichtungen der Geschoßenergien.

Die Flugbahn eines Geschosses unterliegt im Körper denselben Gesetzen, die während der Bewegung des Geschosses auf dem Wege zum Ziel zum Ausdruck kommen.

Die Bewegungen eines Geschosses entgegen beliebigen Widerständen sind als Aenderungen eines Geschoßweges zu verstehen, dessen ideale Form sich nur im luftleeren Raum findet und zunächst unter dieser Voraussetzung betrachtet werden muß.

Wird das Geschoß von keinerlei Substanz umgeben, so beschreibt es von der Waffe bis zum Ziel eine Parabel, die unter einem Erhebungswinkel von 45° eine größte Höhe über der Erdoberfläche erreicht. Die Formel dieser Parabel enthält nur zwei Faktoren, die Erdbeschleunigung und die Anfangsgeschwindigkeit. Die Geschwindigkeit des Geschosses an einem beliebigen Punkt der Bahn heißt Bahngeschwindigkeit (v). Diese ist ebenso wie der jeweilige Neigungswinkel der Bahn zur Erdoberfläche nur abhängig von der Anfangsgeschwindigkeit (v_0) und der Geschoßhöhe. Innerhalb einer bestimmten von v_0 abhängigen Entfernung kann das Geschoß jedes Ziel durch zwei Erhebungswinkel erreichen, deren Summe 90° beträgt. Je näher das Ziel zur Waffe liegt, um so flacher bzw. steiler sind die beiden Geschoßbahnen, auf denen der Schuß zum Ziel gelangen kann. Die Größe, die Gestalt und die Drehung eines Geschosses sind im luftleeren Raum für den Bahnverlauf völlig belanglos.

Eine Veränderung der Verhältnisse ergibt sich beim Fliegen des Geschosses durch die Luft. Dabei muß dauernd beachtet werden, daß die sich hierbei abspielenden Vorgänge und Gesetzmäßigkeiten grundsätzlich auch in jedem anderen Medium Geltung haben. Aenderungen ergeben sich nur graduell aus den unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der Gewebe.

Dem Geschoß haftet eine Oberflächenschicht der Luft an. Diese begleitet es mit gleicher Geschwindigkeit, die seitlich in den angrenzenden Luftteilen sehr schnell abnimmt. Theoretisch verschwingt die seitliche Luftgeschwindigkeit erst im Unendlichen. Da sie praktisch dennoch sehr schnell aufhört, muß ein neues Moment, eine pressende Wirkung der Massenträgheit der Luft diesen Stillstand hervorrufen.

Das Geschoß erfährt bei seiner Durchdringung der vor ihm in Ruhelage befindlichen Luftteile einen Widerstand. Dieser ist bei wagerechter und gleichförmiger Bewegung proportional: 1. dem größten Widerstand zur Bewegungsrichtung, 2. dem Gewicht der Volumeneinheit der Luft, 3. einem Faktor, der eine Funktion der Geschoßgeschwindigkeit darstellt. Dieser verläuft unterhalb der Schallgeschwindigkeit der Luft (334 m/sec) proportional der Geschoßgeschwindigkeit. Er steigt dann schnell bis auf einen Höchstwert, der nach experimenteller Ermittlung bei 430 m/sec liegt. Bei steigenden Geschwindigkeiten nähert er sich asymptotisch einer Konstanten, deren Größe abhängig von der Geschoßform ist. 4. ist der Widerstand proportional einem Faktor, den die Oberflächenbeschaffenheit des Geschosses bedingt. Das unter 3. genannte Moment weist bereits auf eine Bedeutung der Schallgeschwindigkeit in dem durchschossenen Medium für die Geschoßwirkung hin. Diesem Einfluß ist m. E. aus Gründen, die weiter unten aufzuzeigen sind, in wundballistischen Deutungen eine entscheidende Rolle zuzumessen. In der bisherigen Literatur wurde das nicht berücksichtigt.

Für jede Widerstandsbeurteilung auf dem Geschoßweg ist die Kenntnis der Querschnittsbelastung erforderlich. Das ist die auf das Gewicht bezogene Querschnittseinheit. Sie ergibt sich aus der Multiplikation des Gewichtes mit der mittleren Länge des Geschosses in der Bewegungsrichtung. Umgekehrt proportional der jeweiligen Querschnittsbelastung verhält sich das Maß der Verzögerung. Aus der Definition kann abgelesen werden, daß die Querschnittsbelastung bei großkalibrigen Geschossen am größten ist. Darum ist bei diesen die Verzögerung am kleinsten und die Schußweite unter der Voraussetzung

gleicher Anfangsgeschwindigkeiten wiederum die größte. Dagegen ist bei Infanteriegeschossen die Verzögerung groß und die Schußweite klein. Nähert sich ein Geschoß der Kugelform, so wird die Querschnittsbelastung am geringsten. Sie ist hier 4/3 ry, darin bedeutet r den Radius und y das Gewicht. Die Verzögerung ist bei kugelförmigen Geschossen somit am größten, ihre Schußweite am geringsten.

Das Geschoß übt auf seiner Bahn einen Stoß gegen die Luftteile aus, die seiner Spitze anliegen. Dieser wird kugelförmig nach allen Seiten fortgepflanzt. Die Uebertragung geschieht mittels Longitudinalwellen, die mit Schallwellen identisch sind. Der Radius der Ausbreitungskugeln des Stoßes wächst deshalb mit Schallgeschwindigkeit. Nun hat das Geschoß aber eine größere Geschwindigkeit als der Schall. Es überholt in jedem Augenblick die erzeugten kugelförmigen longitudinalen Verdichtungen und Verdünnungen der Luftteile. Die vordere und vorn seitliche Begrenzungsfläche der Kugeln kommt ungehindert zur Ausbildung, während sich die rückwärts gelegenen Teile stören. Das Geschoß erzeugt dadurch eine Kopfwelle, die um so spitzer ist, je schneller das Geschoß fliegt. Der Sinus des Oeffnungswinkels muß gleich dem Quotienten aus Schallgeschwindigkeit und Geschoßgeschwindigkeit sein. Tatsächlich findet sich diese Kopfwelle. In der Luft kann sie mit dem seit 1887 bekannten T ö p l e r'schen Schlierenverfahren fotografiert werden. Aus ihrem fotografisch ermittelten Oeffnungswinkel läßt sich nach obiger Formel die Geschoßgeschwindigkeit ablesen. Physikalisch genauer definiert ist die Luftwelle durch Interferenz der Schallwellen entstanden, die das Geschoß erzeugt. Bei Geschoßgeschwindigkeiten unterhalb der Schallgeschwindigkeit in dem jeweils durcheilten Gewebe müssen die von der Geschoßspitze erzeugten Schallschwingungen dem Geschoß voraus eilen. Die Verdichtung fehlt dann.

Unmittelbar hinter dem Geschoß kommt es zu Sog- und Strudelbildungen, die ebenfalls Luftverdichtungen und -verdünnungen darstellen. Hinter dem flach abschließenden Geschoßboden befindet sich ein luftleerer Raum, in den die

seitlich anliegenden Luftteile mit ihrer Molekulargeschwindigkeit einströmen.

Die Darstellung dieser am Geschoß in der Luft genau beobachteten Vorgänge ist m. E. für den Wundballistiker von bestimmtem Wert. Die Analogie mit den Widerstandsmedien, die im menschlichen Körper vorliegen, zwingt zu der Annahme, daß auch hier durch den Geschoßstoß longitudinale Schwingungen um die Gleichgewichtslage der Teilchen erzeugt werden müssen. Maßgebend für die Ausbreitungsgeschwindigkeit solcher Schwingungen im Gewebe ist die Schallgeschwindigkeit. Diese ist für Wasser gleich 1500 m/sec. Diese Geschwindigkeit wird vom Infanteriegeschoß nicht erreicht. Dagegen können Granatsplitter eine erheblich höhere Geschwindigkeit haben. In solchen Fällen muß es m. E. auch im Gewebe außer den unten zu beschreibenden hydro-dynamischen Vorgängen zu Interferenzerscheinungen analog denjenigen in der Luft kommen. Beobachtungen darüber liegen nicht vor. An dieser Stelle sei aber noch ein weiterer Analogiehinweis gestattet. Die durch ein Geschoß von einer Geschwindigkeit unter 1500 m sec. im Gewebe erzeugten longitudinalen Schwingungen kugelförmiger Ausbreitungsform müssen dem Geschoß voraneilen. Bisher wurden keinerlei Auswirkungen des Geschoßstoßes beobachtet oder bewiesen, die schneller als das Geschoß selbst die Ausschußwand des Zieles erreichten. Bisher gilt vielmehr die These, daß dem Geschoß keinerlei Wirkungsabläufe vorauseilen. Es muß m. E. als sicher gelten, daß Infanteriegeschosse in den sie umgebenden Geweben immer longitudinale Schwingungssysteme erzeugen, die zusammen mit gleichzeitig verursachten anderen, ebenfalls molekularen Schwingungsvorgängen auch vor der Geschoßspitze bleibende Veränderungen zur Folge haben; darauf wird unten zurückzukommen sein. Der folgende Satz ist in die Wundballistik einzuführen: Molekulare Geschoßwirkungen eilen dem Geschoß voraus, wenn dessen Geschwindigkeit unter der Schalleitungsgeschwindigkeit des jeweiligen Mediums liegt. Dieser Folgerung darf ein prinzipieller Wert zugemessen werden, da die Schußfolgen überwiegend durch molekulare physikalische Reaktionen zustandekommen, die

molekulare Reaktionsweise aber zwischen verschiedenen Geweben erhebliche Unterschiede aufweist.

Der Hauptfaktor der Geschoßwirkung ist dessen kinetische Energie im Augenblick des Auftreffens auf das Ziel. Ihr Gesamtwert setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen, die gleichzeitig maßgebend für die Lage des Geschosses zur Geschoßbahn sind. Die Gesamtenergie des Geschosses ist das Maß der Arbeit, die es in der Hervorbringung der Verletzungen zu leisten vermag. Für die Art und Ausdehnung der Verwundung ist aber ebenso wichtig die Ansatzrichtung der Geschoßenergie beim Auftreffen auf das Ziel und während dessen Durchdringung. Diese Ansatzrichtung wird nun maßgeblich von Faktoren beeinflußt, die nach ihrer Größenordnung nur unwesentliche Begleitenergien des Geschosses darstellen. Sie können aber während der Zielpassage für die Ausdehnung der Wundhöhle von dominierender Bedeutung sein. Darum ist eine gleichzeitige Betrachtung einerseits der Größe und andererseits der Ansatzrichtungen der Geschoßenergien erforderlich.

Die Größe der Geschoßenergie in der Richtung der Flugbahn folgt der Formel $m/2 . v^2$. Die lebendige Kraft nimmt somit ab mit der Distanz der Schußabgabe. Sie ist um so größer, je größer die Geschoßmasse ist. Diese Masse stellt das Produkt aus Volumen und spez. Gewicht dar. Es braucht kaum hinzugefügt zu werden, daß für die Geschoßwirkung nur die Endgeschwindigkeit maßgebend ist. Bei Infanteriegeschossen kann die Geschwindigkeit bis fast 900 m/sec betragen, bei Granatsplittern das Doppelte und das Dreifache. Die Mindestenergie ergibt sich aus der Fallgeschwindigkeit. In solchen Fällen ist die bei der Schußabgabe dem Geschoß vermittelte kinetische Energie bereits erschöpft.

Im folgenden sind die Faktoren darzustellen, die als Begleitenergien von Bedeutung werden können. Von ihnen hängt im wesentlichen die Lage des Geschosses zur Flugbahn sowohl während des Fluges wie im Augenblick des Auftreffens ab.

Die Rotationsenergie wird durch den Drall erzielt, den das Geschoß im Waffenlauf passiert. Größe und

Zeitablauf der Rotation sind durch den Drall beliebig zu variieren. Die Rotation besteht darin, daß das Geschoß um seine Längsachse Bewegungen ausführt. Im allgemeinen sind es 3—4000 pro Sekunde. Die Wirkung der Rotation ist eine stabilisierende auf die Geschoßlage relativ zur Geschoßbahn. Sie sucht in jedem Augenblick die gerade vorhandene Lage aufrecht zu erhalten. Wenn das Geschoß aus anderen Gründen quer steht oder Inversionsstellung eingenommen hat, so kann auch diese Lage nur gegen den Widerstand der Rotationsenergie geändert werden. Wenn die Rotation nicht bestände, würden Widerstände kleinster Art Kreisel- und Wirbelbewegungen der Geschosse zur Folge haben. Die Bedeutung der Rotation sei durch die Bemerkung unterstrichen, daß die Entwicklung der modernen Schußwaffen überhaupt erst durch sie möglich wurde. Die zentrifugale Richtung der Rotationsenergie macht es verständlich, daß sie in Widerständen wesentlich langsamer erschöpft wird als die Fortbewegungsenergie. Das Infanteriegeschoß rotiert also noch weiter, nachdem es den Endpunkt seiner Bahn erreicht hat. Wieweit das von Bedeutung werden kann, wird unten noch zu untersuchen sein. Bei zylinderförmigen Geschossen fehlt der Rotationsenergie der Ansatzhebel. Anders wird es bei Granatsplittern, denen die Rotations-Tourenzahl des Ausgangsgeschosses mitgeteilt wird. Durch den erleichterten Ansatz der Rotationsenergie bei Granatsplittern wird sie hier meist von der translatorischen Energie überdauert. Die Zahl der Rotationen pro Sekunde zeigt, daß auf 25 cm Geschoßweg höchstens eine Umdrehung entfällt. Ein Granatsplitter kann etwa zwei Umdrehungen beim Durchschlagen mittelgroßer Geschoßwege im Körper machen.

Das Geschoß führt um seinen Schwerpunkt als Unterstützungspunkt Pendelbewegungen aus, die Präzessionsbewegungen. Sie bestehen darin, daß die Geschoßspitze in je 0,11 Sek. um die Geschoßbahn einen Zykloidbogen ausführt. Beim Rechtsdrall bietet das Geschoß im Augenblick jeder Rechtsstellung der Spitze infolge der Präzession dem Luftwiderstand eine verbreiterte Angriffsfläche. Die Rechtsabweichung wird dadurch verstärkt. Der Zykloidbogen hält sich als Ganzes überwiegend rechts von

der Flugbahn. Durch den Einfluß des Luftwiderstandes auf die extremen Präzessionsstellungen könnte es theoretisch zu einer Querstellung oder auch Inversionsstellung des Geschosses kommen. In Wirklichkeit wird der Luftwiderstand von der Präzessionsenergie aber immer übertroffen. Anders kann das natürlich werden, wenn anstelle der Luft ein anderer Widerstand tritt, der größer als die Präzessionsenergie ist.

Durch die Schwingungen der Waffenmündung und durch die Pulvergase, die das Geschoß zunächst überholen, werden auf dieses Stöße ausgeübt, die es nicht im Schwerpunkt treffen. Die Folge solcher Stöße sind Pendelungen des Geschosses um die Schwerpunktlage. Man nennt sie Nutationen. Die Nutationsenergie findet ihre Auswirkung in Form einer Kurve, der die Präzessionszykloide als Leitkurven dienen. Die Nutationsenergien können theoretisch zu Querstellungen und zur Inversion führen. Bei nicht völlig fehlkonstruierten Waffen kommt das aber nicht vor.

Während Nutationen nur möglich sind, gehören Rotation und Präzession zu den ständig vorhandenen Begleitenergien. Sie greifen am Geschoß als Vektoren an, deren Resultierende sich in schraubenzieherförmigen Bewegungen des Geschoßschwerpunktes um die ideale Flugbahn äußert.

Zu geringen Verlagerungen der Geschoßachse in der Geschoßbahn können mehrere weitere Faktoren führen. Dazu gehören verkantetes Gewehr, aufgestecktes Seitengewehr, besonders starker Wind und anderes. Keinen nennenswerten Einfluß auf die Angriffsrichtung der Energie hat die Streuung. Sie setzt sich aus Faktoren wie Unterschieden in der Schwingung des Gewehrlaufes, Unregelmäßigkeiten der Anfangsgeschwindigkeit u .a. zusammen.

Vor dem Ziel häufen sich die Möglichkeiten der Einflüsse auf die Stellung der Geschoßachse, d. h. auf die Ansatzrichtung der Geschoßenergien. Nach der herrschenden Meinung sollen Grashalme bedeutungslos sein, elastische kleinste Zweige dagegen erhebliche Auswirkungen haben können.

Die praktisch häufigste Ursache für queres Auftreffen der Geschosse ist das Rikoschettieren. Die Geschosse streifen einige Meter vor dem Ziel ein vielleicht unauffälliges Hindernis, einen Stacheldraht, die Deckung oder den Erdboden. Sinkt der Einfallswinkel unter einen gewissen Wert, der mit den physikalischen Verschiedenheiten des Bodens wechselt, so prallt das Geschoß ab. Die dabei erfahrene Energieverminderung ist nicht so nennenswert, daß nicht noch erhebliche Verletzungen entstehen könnten. Bei hartgefrorenem Boden kommt das Rikoschettieren häufiger vor als bei weichem, durchnäßtem Boden. Selbst vom Wasser prallen Geschosse ab, wenn sie mit genügender Energie darauf stoßen. Es gilt als gesichert, daß das Geschoß auch durch Widerstände am Körper selbst abgelenkt wird. Dazu können gehören: Koppelzeug, Tascheninhalt, Knöpfe, Uhren, Patronentasche, Monturteile u. v. a.

In unzähligen Veröffentlichungen wurde die Frage untersucht, ob die Querstellung vor dem Eintreten in das Ziel aus der Schußverletzung oder an dem Geschoß mit Sicherheit zu ersehen sei. Eine einheitliche Auffassung hat sich bisher nicht ergeben. Franz (116)) erscheint ein Rikoschett-Schuß nur dann bewiesen, wenn ein chagriniertes Aussehen des Mantels deutliche Spuren für ein vorheriges Streifen am Erdboden bietet. Die Ablenkung der Ansatzrichtungen der Geschoßenergien beim Auftreffen auf den Körper macht besondere Ueberlegungen erforderlich. Der Einfallswinkel ist von entscheidender Bedeutung. Die Flugbahn bildet mit der Zielebene einen anderen Winkel als die Geschoßlängsachse. Die Auftreffrichtung der Flugbahn ist die der translatorischen Energie. In ihrer Richtung muß demgemäß die größte Geschoßwirkung zum Ansatz kommen. Wie oben beschrieben, liegt die Geschoßachse aber nicht in dieser idealen Flugbahn. Sie liegt ihr auch nicht parallel. Selbst der Geschoßschwerpunkt braucht nicht in der Geschoßbahn zu liegen. Der Winkel zwischen Geschoßlängsachse und Zielebene ist von einer bestimmten aber geringeren Bedeutung als der Winkel zwischen Geschoßlängsachse und Flugbahn. Außerdem ist das Geschoß im Moment der Berührung zwischen Geschoßspitze und Ziel nicht nur in Fortbewegung begriffen. Auch in diesem

Moment macht es eine Bewegung unter der Einwirkung der Präzession, die senkrecht zur Flugbahn liegt. Praktisch wird das von geringerer Bedeutung sein, da Nutation und Präzessionsbewegungen relativ längere Wegstrecken brauchen. Erfahrungsgemäß spielt die Form des vorangehenden Geschoßteiles eine wesentliche Rolle. Spitzgeschosse werden im Zieleintritt am leichtesten abgelenkt, und zwar um so stärker, je größer die Distanz zwischen Geschoßmitte und Schwerpunktslage ist. Bei uneinheitlicher Masse dürfte auch die Massenverteilung im Geschoß eine Rolle spielen. Wir sagten „vorangehender Geschoßteil" und nicht „Geschoßspitze". Aus Gründen, die weiter unten verdeutlicht werden können, ist beim Durchdringen eines Widerstandes nicht die Geschoßform an sich, sondern die Form des dem größten zur Flugbahn senkrechten Querschnitt vorangehenden Teiles entscheidend. Diese wird schon durch kleine Winkelwerte zwischen Geschoßlängsachse und Flugbahn bedeutend beeinflußt.

Beim Passieren der Zielebene kommt es auf die Form desjenigen Körpers an, der sich ergeben würde, wenn sämtliche Querschnitte zwischen Zielebene und eintretendem Geschoß aneinander gereiht würden. Die Form dieser Querschnitte ist rechnerisch bedingt durch den Winkel zwischen Geschoßachse und Zielebene.

Im Ziel ändert sich die Geschoßlage bei jedem Ueberschreiten der Grenzfläche zwischen zwei Geweben verschiedener Widerstände. Das schließt nicht aus, daß die Gewebsschichten im Verhältnis zur Geschoßgröße so schmal sind, daß die ändernde Auswirkung praktisch nicht zur Geltung kommt.

Abschließend sei ein Hinblick auf die häufige Beobachtung gestattet, daß Geschosse ein Ziel in Normallage passieren und erst 20—50 cm nach dem Zielaustritt beginnen, eine Quer- oder auch Inversionsstellung einzunehmen. M. E. wurde bisher nicht beachtet, daß geringe Abweichungen der Lage der Geschoßachse von der Flugbahn durch den Uebertritt aus einem relativ dichtem in ein sehr dünnes Medium erhebliche Verstärkungen bis zur Inversionsstellung erfahren können. In solchen Fällen kann auch die stabilisierende Rotationsenergie während der Zielpassage erhebliche Abschwächungen erfahren haben.

2. Die allgemeinen Gesetzmäßigkeiten im wundballistischen Wirkungsablauf.

Zur Klärung der Mechanik, mit der die Auswirkungen der Geschoßenergien ablaufen, ist es nicht erforderlich, die verschiedenen beobachteten Arten von Schußverletzungen der Reihe nach zu analysieren. Schon eine oberflächliche Betrachtung läßt eindeutig erkennen, daß die unendliche Vielgestaltigkeit der Schußverletzungen ganz überwiegend darauf beruht, daß eindringende Geschosse an den verschiedenen Körperteilen auf sehr unterschiedliche Verhältnisse treffen. Die Zahl der Faktoren, die beim Ablauf der Geschoßwirkung mitspielen, ist bei weitem nicht so groß, wie ihre Variabilität in den einzelnen Körperregionen. Somit muß die allg. Wundballistik in der Formulierung ihrer Gesetze und Regeln von allen topographischen Besonderheiten absehen. Deren Berücksichtigung ist Aufgabe der speziellen, gleichsam angewandten Wundballistik.

Das Zustandekommen einer Verwundung stellt die Resultierende aus der Geschoßeinwirkung einerseits und der Reaktion der Gewebe andererseits dar. Da die Geschoßenergien bereits gekennzeichnet wurden, sind im folgenden die Reaktionen der Gewebe darzustellen. Die kinetische Energie des Geschosses ist bemüht, sich dem Gewebe mitzuteilen. Der Körper setzt dieser Tendenz einen Widerstand entgegen. Nach dem Newton'schen Gesetz wächst der Widerstand proportional der einwirkenden Kraft. Je geringer die Schußdistanz ist, um so größer ist daher der Widerstand. Die beste Verdeutlichung des Newton'schen Gesetzes in der Wundballistik bietet folgendes Beispiel: eine Pistolenkugel, die aus geringer Entfernung auf eine Wasseroberfläche abgegeben wird, prallt von dieser ab oder zerschellt. Bei größerer Distanz dringt sie dagegen in das Wasser ein, ohne eine Veränderung zu erfahren.

Den Hauptteil des vom Geschoß mobilisierten Widerstandes bildet die Massenträgheit. Dieser Trägheitswiderstand wirkt der Geschoßrichtung entgegen. Er erreicht nie die volle Größe der Geschoßenergie. Seine direkte Entstehung ist auch nur in den von der Geschoßspitze getroffenen Gewebsteilchen möglich. Alle davon ent-

fernt liegenden Teile können den Geschoßstoß nur sekundär erhalten. Dazu gehört eine Uebertragung der Energie von den primär getroffenen Teilen aus. Diese Weiterleitung unterliegt Gesetzen, die unten darzustellen sind.

In der Ueberwindung der Trägheitsenergie, d. h. in der reinen Verdrängung primär getroffener Teile erschöpft sich die Geschoßenergie nie. Nach dem Gesetz von der Erhaltung der Energie muß aber die gesamte kinetische Energie in Umsetzung kommen, die das Geschoß während der Zielpassage verliert. D. h. das Geschoß leistet Arbeit. Das Ergebnis dieser Arbeit ist die Geschoßwirkung. Sie vollzieht sich in der Ueberwindung einer Reihe von weiteren Widerstandsenergien, sowie in der Erzeugung von Wärme. Dazu kann eine Aenderung der Geschoßform selbst, eine Deformation als Arbeitsleistung treten.

Sämtliche Widerstandsenergien, die neben der Massenträgheit überwunden werden müssen und die mit ihr zusammen den Gesamtwiderstand bilden, müssen nach ihrer unterschiedlichen wundballistischen Bedeutung in zwei verschiedene Gruppen unterteilt werden.

Die Trägheitsenergie möchten wir mit einem neuen Wort als eine primäre Verschiebeenergie bezeichnen. D. h. ihre Ueberwindung hat immer von vornherein die bleibende Verschiebung der Gewebeteile aus ihrer Gleichgewichtslage heraus und gegeneinander zur Folge. Die molekulare Struktur erfährt bei der Ueberwindung einer primären Verschiebeenergie stets bleibende Veränderungen. In amorphem Material braucht das noch keine Zusammenhangstrennung irgendwelcher Art zu bedeuten. In kristalloid geordneten Massen werden aber immer wenn auch nur mikroskopische Verschiebungen nachzuweisen sein, Schubebenen bei eindimensionaler, Schubzonen bei mehrdimensionaler Einwirkung. Diese bedeuten immer eine meist negative Beeinflussung der inneren Statik des Materials. Wichtiger als das Gleichgewicht der Moleküle sind in jedem lebenden Gewebe die funktionellen Beziehungen aller Teile miteinander. Hier bedeutet jede, selbst ultramikroskopisch bleibende Veränderung der molekularen Struktur eine Störung in der biologischen Integrität der Gewebe, einfacher gesagt eine regelrechte Verletzung .

Die zweite Gruppe besteht aus molekularen Widerstandsqualitäten. Deren Mobilisierung besteht nicht in primären bleibenden Verschiebungen, sondern darin, daß die Moleküle um ihre Gleichgewichtslage Schwingungen ausführen. Diese sind meist longitudinal. Es kommt aber durch komplizierte Vorgänge auch zu transversalen und rotierenden Schwingungen. Reflexion und Interferenz spielen eine große Rolle.

Die Uebertragung der verschiedenen Widerstände erfolgt relativ schnell, soweit das Uebertragungsmittel diese Schwingungen sind. Jeder mit kinetischer Energie geführte Stoß erzeugt zunächst eine Zone potentieller Energie. Diese überträgt ihre potentiell energetische Aufladung zu einem Teil an ihre periphere Umgebung. Der andere Teil wird in kinetische Energie umgesetzt, die in einer Bewegung der angestoßenen Teile in der Richtung des geringsten Widerstandes besteht und zur sekundären Stoßausübung führt. Auf dem Wege, den die Stoßfortpflanzung nimmt, schaltet sich zwischen die Mobilisierung der Massenträgheit und die mobilisierende kinetische Energie fortlaufend eine Zone potentieller Energie ein. Die Energieumformung und die sekundäre Fortleitung der kinetischen Energie erfordern eine gewisse Zeit. Das Geschoß ist immer schneller als die Fortleitung der primären Verschiebewiderstände!

Anders reagieren die molekularen Widerstandsqualitäten. Sie bestehen in Schwingungen, die mit geringen Ausnahmen akustischer Natur sind. Ihre Messung hat mit Schallmeßgeräten zu erfolgen und ihre Uebertragungszeit ist durch die Schallgeschwindigkeit gegeben. Diese ist aber in Geweben immer schneller als Infanteriegeschosse.

Daraus möchte ich die Gültigkeit meines folgenden Satzes folgern:

Der Wirkungsablauf molekularer Widerstandsenergien übertrifft an Schnelligkeit die Geschwindigkeit der Infanteriegeschosse.

Geschoßwirkungen, die in der Umformung kinetischer Geschoßenergie in molekulare Widerstandsenergien bestehen, pflanzen sich somit vor dem Geschoß her und radiär von seiner Flugbahn schneller fort als das Geschoß

selber! Die Größenordnung dieser Widerstandsenergien ist gering im Verhältnis zur Gesamtenergie des Geschosses. Insofern ist es verständlich, daß sie zu keinen größeren makroskopischen Veränderungen zu führen pflegen und im Gegenteil die Zerstörungskraft des Geschosses abschwächen, soweit sie zu einem Ausweichen der Gewebe vor der mobilisierenden Energie und dem Geschoß her führen. Es kann aber noch fernab von der Geschoßbahn durch Zusammentreffen verschiedener Schwingungsarten, durch Interferenz, durch Reflexion und andere Faktoren molekularer Größenordnung zu einer Ueberschreitung der Festigkeitsgrenze kommen. In der Technik sind derartige Schubebenen und Schubzonen an zunächst unverständlichen Orten bekannt. In der Pathologie der Frakturen sind sie längst bekannt. Auch der Wundballistiker muß mit ihnen rechnen. Wir müssen m. E. aus diesen Ueberlegungen den „Bereich" eines Schußkanals soweit stecken, wie die durch das Geschoß ausgelösten molekularen Schwingungsenergien reichen. Zum Beispiel kann jede Unterschenkelschußfraktur durch gleichzeitige Federung und elastische Stauchung im Gesamtgebiet des Oberschenkels Schubzonen hervorrufen, die etwa dessen Biegungsfestigkeit wesentlich herabsetzen können. Wundballistisch sind derartig entstehende mikroskopische Verletzungen weitaus eher möglich als bei jeder durch einmaliges Trauma entstandenen Fraktur. Denn in fast jedem Schußbereich sind die Grenzen der molekularen Widerstände von sehr unterschiedlicher Größe und deren tragende Substanzen bilden mechanisch gesehen ein enormes Durcheinander. Nun beansprucht die Geschoßenergie aber in weitem Umfange sämtliche Widerstandsqualitäten bis an ihre Grenze und darüber hinaus. Daher gelten m. E. folgende Sätze: 1) Widerstandsreaktionen, die ihrer Natur nach molekulare Schwingungsvorgänge sind, können noch fernab von dem Geschoßkanal zu einer Ueberschreitung der Festigkeitsgrenze und damit zu Strukturzerstörungen im Gewebe führen. 2.) Der Bereich einer Schußverletzung ist durch die Reichweite der vom Geschoß unter den Bedingungen der Körperhaltung im Au-

genblick des Beschusses ausgelösten molekularen Widerstandsreaktionen gegeben.

Die aufgezeigten Geschwindigkeitsunterschiede im Reaktionsverlauf zwischen molekularen Widerstandsqualitäten und primären Verschiebewiderständen können noch in anderer Weise von praktischer Bedeutung sein.

Die innere Reibung oder Viskosität findet sich bei allen Stoffen, auch in der Luft und in der Gewebsflüssigkeit. Wenn wir sie für Wasser = 1 setzen, ist sie zum Beispiel für Glyzerin = 300.

Die Kohäsion stellt eine molekulare Anziehungskraft zwischen Teilchen gleicher Substanz dar.

Die Adhäsion findet sich als eine molekulare Anziehung an jeder Berührungsstelle zwischen Teilchen verschiedener Substanz.

Die Elastizität ist eine Folge molekularer Bewegungen und Kräfte. Sie kann als Reaktion gegen Formänderungen oder gegen Volumenänderungen zur Geltung kommen. Während eine Flüssigkeit nur eine Elastizität des Volumens besitzt, tritt eine Elastizität der Gestalt bei festen Körpern hinzu. Die Volumenelastizität ist der reziproke Wert der Kompressibilität! Es darf also nicht, wie in der Literatur oft geschah, die Zusammendrückbarkeit mit der Elastizität verwechselt werden. Ein Wert ist um so größer, je kleiner der andere ist. Die molekulare Bedingtheit dieser Widerstandsgrößen läßt sich leicht verdeutlichen. Ist ein Medium nicht komprimierbar, d. h. besitzt nicht jedes Teilchen die Fähigkeit, sich mit einem kleineren Raum zu begnügen, so muß zum Ausweichen vor einem Geschoß jedes Teilchen seinen Platz verlassen. Während komprimierbare Stoffe dadurch Platz schaffen, daß die Teilchen näher zusammenrücken, ohne also die Struktur auch nur an einer Stelle zu ändern, kommt es in nicht kompressiblen Stoffen durch jedes Ausweichen zu einer ausgedehnten Zerrüttung der gesamten molekularen Struktur. In dem Medium des Wundballistikers, dem Gewebe, besteht ein vielfältiges Durcheinander von Teilchen großer bis zu kaum nachweisbarer Kompressibilität. Wenn ein gegen den Widerstand der Elastizität erfolgter Stoß deren Höchstmaß überschreitet, so verhält sich dieses Gewebe

naturgemäß wie ein unelastischer Körper. Sehen wir an einem Beschußpräparat, daß das Gewebe keineswegs so reagiert hat, als sei es unelastisch, so können wir daraus entnehmen, daß die elastische Ausweichbewegung noch Zeit zur Entfaltung hatte, die Geschoßgeschwindigkeit also übertraf. Darauf beruhen eine Anzahl von Schlußfolgerungen, die ich im Gebiet der allgemeinen und der speziellen Wundballistik zog und unten formulieren werde.

Die Ueberwindung eines Reibungswiderstandes ruft immer eine Erwärmung hervor. Diese nimmt bei dem Beschuß von Stahlplatten Temperaturen über 1000 ° an. Im menschlichen Gewebe beträgt die Erwärmung in unmittelbarer Umgebung des Schußkanals 60 - 95 °. Zu einer Verkochung kommt es wohl nie. Dieser Meinung wird vielfach widersprochen. Theoretisch ist die Wärmeabgabe bei der Größe der Reibungswiderstände erheblich größer. Die noch zu schildernde sehr schnelle Fortbewegung der Teilchen aus der Umgebung des Geschosses verhindert neben anderen Faktoren aber eine volle Auswirkung der Erwärmung.

Die Arbeit, die das Geschoß leistet, besteht somit in einer Verminderung oder Aufhebung der genannten Widerstandskräfte. Nachdem diese im ersten Augenblick durch die Stoßübertragung des Geschosses vom Gewebe in Ansatz gebracht wurden, hören sie in kurzer Zeit auf zu bestehen, während gleichzeitig die Gesamtenergie des Geschosses um die Größe der aufgehobenen Widerstandsenergie abgenommen hat. Entsprechend in Mitleidenschaft gezogene Gewebsteile reagieren deshalb, als hätten sie weder Elastizität noch Kohäsion, noch Kompressibilität, noch Reibung etc. Die Festigkeit der Struktur ist restlos aufgehoben. An ihre Stelle ist eine vollkommene Labilität der Teile getreten. Es bleibt neben der Erwärmung als Ausdruck der Arbeitsleistung eine Geschwindigkeitsübertragung der Geschoßenergie auf die getroffenen oder sekundär mitwirkenden Gewebeteile übrig. Die Geschwindigkeitsübertragung muß daher eine um so größere Ausdehnung haben, je kleiner die molekularen Widerstandsenergien im Gewebe waren.

Einen Vergleichswert für die Verständlichmachung

mancher Geschoßauswirkungen in Flüssigkeiten bietet das Gesetz des französischen Arztes Poiseuille. Bewegt sich ein Flüssigkeitsstrahl durch einen größeren mit derselben Flüssigkeit gefüllten Raum, so nimmt seitlich von dem Strahl die Geschwindigkeit langsam in zylinderförmigen Lamellen ab, die sich gleichsam aneinander vorbei schieben.

Man nahm an, daß bei dem Eintritt eines Geschosses in einen mit flüssigkeitsreichen Geweben gefüllten Raum eine allgemeine Druckerhöhung in diesem die sofortige Folge sei. Deshalb wurde von der hydraulischen Druckwirkung der Geschosse gesprochen. Coler und v. Schjerning (66) bewiesen experimentell und theoretisch, daß ein Geschoß fast nie einen hydraulischen Druck hervorrufen kann. Durch direkte filmische Beobachtungen fanden Kranzfelder und Schwinning (184) dasselbe. Dagegen haben wir es bei den meisten Geweben wegen des bedeutenden Flüssigkeitsgehaltes mit einer hydro-dynamischen Druckwirkung zu tun.

Geschoßwirkungen im Wasser oder in flüssigkeitsreichen Geweben sind vollkommen unabhängig davon, ob und wieweit diese in ihrer Ausweichungsmöglichkeit beschränkt sind. Freihängende Marksäulen bieten unter sonst gleichen Voraussetzungen genau die gleichen Schußauswirkungen wie Markmassen, die von den Diaphysen der Röhrenknochen eng umschlossen werden. Auch der zeitliche Ablauf ist völlig der gleiche. Führt man mit einem beliebigen Gegenstand an umschriebener Stelle auf eine Wasserfläche einen Stoß aus, so entsteht um die Spitze des Gegenstandes eine ebenso umschriebene Zone, in der die Wasserteilchen unter einer potentiellen Druckspannung stehen. Innerhalb eines sehr geringen aber meßbaren Zeitraumes gibt diese Zone einen Teil ihrer potentiellen Energie an die Umgebung ab. Der Rest wird umgeformt in kinetische Energie der zuerst getroffenen Wasserteilchen. Dadurch sind diese zu einer Fortbewegung aus der Zone der Druckspannung imstande. Sie weichen dem Stoß in der Richtung des geringsten Widerstandes aus. Damit ist das Wesentliche der hydro-dynamischen Druckwirkung der Geschosse beschrieben. Schüsse treffen so gut wie immer Gewebsmassen, deren Ausdehnung größer als der

Geschoßquerschnitt ist. In fast allen praktisch vorkommenden Fällen handelt es sich bei der Schußverletzung daher um eine umschriebene Stoßwirkung.

Die Geschoßenergie, die beim Eintritt des Schusses in das Gewebe zum Ansatz kommt, ist auf den Geschoßquerschnitt verteilt. Diesem geht praktisch immer außer bei plattköpfigen Geschossen, die Geschoßspitze voran. Durch deren Form wird die Geschoßenergie dem Gewebe vermittelt. So ist es erklärlich, daß die Form des dem Gesamtquerschnitt vorangehenden Geschoßteiles für die Gestaltgewinnung des Schußkanals und der Zerstörungszone von ausschlaggebender Bedeutung ist. Wenn im folgenden von der Geschoßspitze gesprochen wird, so ist damit immer die Form desjenigen Geschoßteiles gemeint, der dem Eintritt des größten Querschnittes vorausgeht, den das Geschoß senkrecht zu seiner Fortbewegungsrichtung aufweist.

Die Geschoßspitze übt auf die Gewebeteile, die es nacheinander passiert, kontinuierlich einen umschriebenen Stoß aus. In jedem Augenblick der Zielpassage liegt der Geschoßspitze deshalb ein umschriebenes Gebiet von Gewebsmassen an, die unter höchster Druckspannung stehen. In jedem Augenblick der Geschoßbahn bekommen aber auch alle nicht der Geschoßspitze anliegenden Teile den Geschoßstoß durch sekundäre Weiterleitung. Diese Weiterleitung erfolgt nicht nach allen Seiten. Sie fehlt in jedem Augenblick des Geschoßfluges in der vor dem Geschoß und vorn seitlich von ihm liegenden Region. Es kommt zu einer Seitenstoßwirkung, deren Größe durch jedes Beschußpräparat demonstriert wird. Sie nimmt mit zunehmender Schußdistanz gleichmäßig ab. Zu ihrer Uebertragung ist ein Medium beliebiger Art erforderlich. Die Auswirkung des Seitenstoßes besteht in einer seitlichen Fortbewegung der Gewebsmassen, sodaß die Geschoßhöhle entstehen kann. Die potentielle Energie, die das Geschoß durch seine lebendige Kraft den seiner Spitze anliegenden Gewebsteilen vermittelt, wird in kinetische Energie umgeformt, die den getroffenen und den sekundär mitbeteiligten Gewebsteilen mit sehr großer Geschwindigkeit Bewegungen seitlich von der Geschoßbahn und in deren Richtung verleiht. Die Ueberwindung sämtlicher Widerstandsenergien

in diesen Gewebeteilen und ihre Geschwindigkeit, die in rückwärtiger Richtung diejenige des Geschosses noch übertreffen kann, macht jedes Teilchen für sich zu einem Sekundärgeschoß. Jedes dieser mit ungeheurer kinetischer Energie in einer bestimmten Richtung fliegenden Teilchen unterliegt genau denselben Gesetzen wie das Geschoß selber.

Gelangt der Seitenstoß gegen stärkere Widerstände, so macht seine Weiterleitung in denselben zunächst eine Ueberwindung der neuen Widerstandsenergien erforderlich. Erst dann können auch die neugetroffenen Gewebeteile mit anderen Widerstandsqualitäten ihrerseits als Sekundärgeschosse wirken.

Von den nicht translatorischen Geschoßenergien kann praktisch nur die Rotationsenergie im Ziel selber von Bedeutung werden. Wenn das Geschoß vor Verlassen des Körpers zum Stillstand kommt, ist die Rotation meist noch nicht erschöpft. Sie wird dann um die Geschoßspitze als Unterstützungspunkt genau so ausgeführt wie bei einem Spielkreisel auf der Straße. Selbst wenn das Geschoß völlig zylinderförmig ist, können kleine Ausschläge des Geschoßbodens noch wirkungsvolle Fortleitungen der zentrifugalen Rotationsenergien vermitteln.

Wie oben dargelegt, stabilisiert die Rotation die Lage der Geschoßachse zur Flugbahn in jedem Fall. Wenn das Geschoß somit durch harte Widerstände oder aus vielen anderen ballistisch möglichen Gründen im Ziel zur Querstellung kommt, wird durch die größere Angriffsfläche der translatorischen Energie auch der Gewebswiderstand größer. Die Rotation erschwert sehr wesentlich die von den Gewebswiderständen andernfalls leichter erzielte Ausrichtung der Geschoßachse parallel zur Flugbahn. Jede Aenderung der Geschoßlage muß das Gewebe gegen die rotatorische Energie ausführen. Diese erschöpft sich in solchen Fällen schneller als die translatorische Energie. Bei nicht zylinderförmigen Geschossen, also z. B. bei Granatsplittern, kommt die zentrifugal gerichtete rotatorische Energie voll zum Ansatz. Sie ruft Stöße gegen das Gewebe hervor, die senkrecht zur Geschoßachse gerichtet sind. Wie oben geschildert, findet durch den Mechanismus der Seitenstoßbildung auch die translatorische Energie ihre ausgedehnteste

Auswirkung in der Richtung senkrecht zur Geschoßbahn. Es kommt deshalb bei Granatsplittern wohl fast immer zu einer Summation der translatorischen und der rotatorischen Energie in seitlicher Richtung und zu einer restlosen Ausnutzung der letzteren. Die Rotation ist selten mit mehr als 0,6 % der Gesamtenergie des Geschosses ausgestattet.

Nutation und Präzession dürften, wie oben geschildert, nur für die Ansatzrichtungen der Geschoßenergien und für die Geschoßlage im Augenblick des Eintretens in das Ziel von Bedeutung sein. Während der Geschoßpassage sollen nach Franz (116) die Gewebsmassen einen schienenden Einfluß auf die Lage der Geschoßachse zur Fortbewegungsrichtung ausüben können. Dazu wäre aber ein Rest von Widerstandsenergie und Festigkeit in dem schienenden Gewebe erforderlich. Nach unseren obigen Ausführungen führt schon die Geschoßspitze als Träger des Seitenstoßes die Gewebsmassen in einen Zustand völliger Labilität über, aus dem sie sich nur sehr viel langsamer als die Geschoßgeschwindigkeit im allgemeinen beträgt, wieder stabilisieren können. Wir halten daher eine schienende Wirkung nicht für möglich.

Es sei abschließend zur Darstellung der allgemeinen Geschoßwirkung nochmals hervorgehoben, daß die Geschoßform für die Gesetzmäßigkeit des wundballistischen Wirkungsablaufs belanglos ist. Sie bedingt in jedem Falle genau so wie die immer unterschiedliche Zielgeschwindigkeit der Geschosse lediglich Variationen, keine grundsätzliche Aenderung oder Neueinführung der die Mechanik bestimmenden Faktoren.

Die hydro-dynamische Druckwirkung findet sich naturgemäß nur in wasserreichen Geweben. In allen anderen, wie z. B. im kompakten Knochen, erschöpft sich die Geschoßwirkung in der Ueberwindung der den Geschoßweg verlegenden Widerstände und in den durch diese Widerstände in seitlicher Richtung ausgeübten Stößen. Praktisch hat es der Wundballistiker aber fast immer gleichzeitig mit wasserreichen Geweben zu tun. Zumindest kommen praktisch keine isolierten Schußverletzungen etwa von Knochenkompakta vor.

Es wurden oft Fälle beobachtet und beschrieben, in

denen man zur Erklärung der Verletzung annehmen mußte, daß Gebilde wie Gefäße, Nerven, Darm u. a. den Geschossen ausgewichen waren. Ein solches Ausweichen wurde von allen mechanisch analysierenden Autoren für völlig unverständlich gehalten und von den meisten nur bei Geschossen mit sehr geringer lebendiger Kraft für möglich erklärt. Es sei nicht vorstellbar, wie der Seitenstoß der Geschoßspitze Gebilde unversehrt vor dem Geschoß her beiseite schieben solle. Eine Erklärung erblicke ich in meiner folgenden Ueberlegung: Die der Geschoßspitze aufsitzende Druckhaube berührt das fragliche Gebilde und verursacht in diesem eine gleichzeitige Mobilisierung sämtlicher Widerstandsreaktionen. Ehe der Trägheitswiderstand voll zur Entwicklung gekommen ist, hat die molekulare Elastizitätsreaktion sich mit der Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung bis an die Grenze ihrer Möglichkeit ausgebildet. Weil die elastische Ausweichbewegung mit Schallgeschwindigkeit abläuft, ist sie schneller als das Geschoß. Es ist demnach möglich, daß elastische Gebilde, wie Gefäße sie darstellen, einem Geschoß ausweichen, wenn sie von der Druckhaube so berührt werden, daß eine ausreichende Aktivierung der Ausweichelastizität erfolgen kann. Die Haut z. B. weicht jedem Infanteriegeschoß an Ein- und Ausschuß bis an die Grenze ihrer Elastizität aus und wird erst durchschlagen, wenn die Geschoßenergie diesen Grenzwert überwindet. Der Beweis liegt in zahllosen Beobachtungen vor, die alle Ausdruck der Tatsache sind, daß Elastizitätsreaktionen an Schnelligkeit tatsächlich Infanteriegeschosse übertreffen. Der hier zu Tage liegende von uns betonte Unterschied im Zeitablauf zwischen primären Verschiebe- und molekularen Widerständen muß in die Deutung vieler weiterer wundballistischer Beobachtungen eingeführt werden. Hier seien nur zwei weitere Beispiele genannt. Im übrigen sei auf den speziellen Teil verwiesen. Einwandfrei nachgewiesene Schußpassagen zwischen parietaler und visceraler Pleura oberhalb der Komplementärräume ohne Verletzungen der Pleurablätter möchte ich durch die schnelle Aktivierung der Ausweichelastizität erklären. Die Elastizität der peripheren Lungenteile ist bekannt. Dagegen ist der Deutungsversuch von

Franz (112), durch einen Geschwindigkeitsunterschied zwischen Lungen- und Thoraxbewegungen entstehe zwischen beiden Pleuren bei der Exspiration ein Raum, der zur freien Passage eines Geschosses genüge, schwieriger zu begründen. Es erscheint verständlich, daß die Beobachtung des Ausweichens von Darmabschnitten in früheren Kriegen sehr häufig und im Weltkrieg nurmehr selten gemacht wurde. Die früher größeren Kaliber konnten durch ihre größere Druckhaube eine entsprechend breitere Auslösung molekular bedingter Ausweichreaktionen verursachen. Durch diesen Mechanismus ist m. E. der Unterschied zwischen der in früheren Kriegen guten und im Weltkrieg so überraschend schlechten Prognose der Bauchschüsse zu erklären.

Eine besondere Betrachtung erfordert die Deformierung der Geschosse im Ziel und die Begünstigung einer solchen Deformierung durch die primäre Form und Zusammensetzung des Geschosses. Je spitzer das Geschoß ist, desto größer ist seine Durchschlagskraft, gleiche kinetische Energien vorausgesetzt. Desto geringer sind aber auch die seitlichen Zerstörungen. Unterhalb einer gewissen Kalibergröße werden die Verletzungen im Durchschnitt so klein, daß durch sie bei den gegenwärtigen Geschoßgeschwindigkeiten sehr häufig keine Kampfunfähigkeit verursacht wird. Je größer der vorangehende Teil ist, je breiter und flacher er geformt ist, desto ausgedehnter muß nach dem Gesagten die zerstörende Wirkung sein. Die Deformation des Geschosses im Ziel spielt deshalb für die Wirkung eine entscheidende Rolle. Mit ihr ist immer eine Verbreiterung oder Abflachung des vorangehenden Teiles verbunden. Geschosse aus einheitlicher Masse zerplatzen praktisch nie. Besonders große Widerstände führen nur zu einer Abbiegung der Spitze. Geschosse, die einen weichen Kern enthalten und von einem Stahlmantel umgeben sind, erschöpfen immer einen Teil ihrer Energie in sich selber. Der Bleikern verliert seine kinetische Energie langsamer als der vom Widerstand unmittelbar gebremste Mantel. Fehlt dem Geschoß die Spitze des umgebenden härteren Mantels, so bricht das Blei aus dem Mantel hervor, wird nun seinerseits zum vorangehenden

Teil, erfährt in diesem Augenblick den primären Widerstand und staucht sich pilzförmig. Die Pilzform wird mitverursacht durch den in die Bleihaube vordringenden Stahlmantel, der nun seinerseits seine kinetische Energie langsamer verliert, da ihm der Widerstand erst durch die Bleispitze sekundär fortgeleitet wird. Der Unterschied in der Härte ist zwischen dem vorderen kreisförmigen Stahlrand und dem weichen Blei so groß, daß der Stahlmantel theoretisch fast immer zu einer Abschneidung seitlich vorquellender Bleimassen führen muß. Die Widerstandsstauchung der Bleimassen wirkt sich ferner in einem Zerreißen des Stahlmantels aus. Die ausgedehnten Zerstörungen der durch solche Dum-Dum-Geschosse verursachten Verletzungen sind in dieser Weise physikalisch zu erklären.

Es ist gleichgültig, ob dem Geschoß die Spitze vorher genommen oder stattdessen eine Spitze aufgesetzt wird, die aus so weichem Material besteht, daß sie bei der Mehrzahl der Schüsse abbricht. Geschosse mit Bleikern und Stahlmantel hinterlassen nach Lardy (198) bei Schußfrakturen immer Bleispuren. Die Knochenpassage führt bei solchen Geschossen demnach immer zu einem Abbrechen der Stahlmantelspitze und zu einem Freiwerden der Bleimasse. Eine Sprengwirkung in dem beschriebenen Sinn zeigen Dum-Dum-Geschosse nur bei Entfernungen unter 400 m. Hier finden sie sich aber entgegen von Kirschner (167) u. a. aufgestellten Thesen auch bei reinen Weichteilschüssen.

Der Vergleich zahlloser experimenteller wundballistischer Arbeiten lehrt immer wieder, daß die Ergebnisse an Leichen andere sind als an lebenden Tieren. Die verschiedenen Widerstandsqualitäten ändern sich durch den Tod nicht in gleichem Umfange. Am Lebenden sind z. B. Haut und Muskulatur sehr viel größere Widerstände als bei der Leiche. Lebendes Gewebe veranlaßt augenscheinlich das Geschoß viel leichter zu einer Aenderung der Flugbahn als Leichengewebe. Im Sinne unserer Unterteilung sind es die molekularen Schwingungswiderstände, die nach der Natur ihrer Bedingtheit in der Leiche schnell schwinden, während die primären Verschiebewiderstände z. T. noch zunehmen können. Diese divergierende Entwicklung

bringt naturgemäß ein stark verzerrtes Bild wundballistischer Ergebnisse an Leichen mit sich. Die Elastizität der lebenden Gewebe ist an dem Zustandekommen der Form der Zerstörungszone m. E. mit einem hohen Prozentsatz beteiligt. Waren Leichenbeschüsse zur Klärung prinzipieller Fragen von großem Wert, so dürften sie für die weitere Entwicklung fast unbrauchbar sein. Dagegen läßt sich bei Tieren die Größenordnung der einzelnen Widerstandsqualitäten ermitteln und dann entsprechend in der Beschußdeutung berücksichtigen.

Die aufgezeigten allgemeinen Gesetzmäßigkeiten im Wirkungsablauf bieten einen Rahmen, der eine ungefähre Verständlichmachung aller Schußverletzungen ermöglicht. Von gesetzloser Gewalt irgendwie deformierter Geschosse kann man im eigentlichen Sinne nicht mehr sprechen.

3. Beobachtete Einzelheiten über den allgemeinen wundballistischen Wirkungsablauf.

Wundballistische Untersuchungen in Form der Analyse von Beschußpräparaten und theoretischen Deduktionen haben ihren hohen Wert bewiesen. Sie sind aber nicht in der Lage, absolute Sicherheit über den tatsächlichen Ablauf der Geschoßwirkung zu erbringen. Erst unmittelbare Beobachtungen sind dem Chirurgen wirklich sichere Beweise.

Die von Kranzfelder und Schwinning (184) in äußerst kurzen Zeitabständen photographierten Phasen der Geschoßwirkung haben vieles gelehrt, was vorher nicht bekannt war. Sie haben zu Korrekturen mancher Ansichten geführt. Sie haben aber auch deutlich gemacht, welche ungeheuren Möglichkeiten direkte und fortlaufende Filmaufnahmen der Geschosse in der Gewebspassage bieten müssen. Ihnen stand über jeden Beschuß nur eine kleine Serie von Bildern zur Verfügung. Diese waren zudem Schattenrisse.

Nach Kranzfelders Beobachtungen läuft die Geschoßwirkung in folgender Weise ab:

Beim Eintritt in flüssigkeitsreiches Gewebe erzeugt das Geschoß in der unmittelbaren Umgebung seiner Spitze eine

sehr schmale Zone, die mit einer sehr großen potentiellen Energie geladen ist. Sie hat die Form einer Haube. Ihr Druckmaximum liegt beim flachen Geschoß und bei dem mit ogivaler Spitze vor dem Zentrum der Spitze, beim Spitzgeschoß als schmaler Gürtel unmittelbar hinter der Spitze. Seitlich nimmt der Druck in lamellärer Anordnung ab. Die Druckhaube sitzt der Geschoß-Spitze zunächst fest auf, als sei sie ein Teil des Geschosses selber. Sie ist ihm gleichsam aufgeschmiedet. Die potentielle Druckenergie der Haube macht die angrenzenden Gewebsmassen labil. D. h. sie nimmt ihnen ihre verschiedenen Widerstandsenergien. Dadurch besteht das angrenzende Gewebe nur noch aus kleinsten gegeneinander völlig beweglichen Teilchen. Dank ihrer durch die Druckhaube erzielten Beweglichkeit streben sie von der Druckzone fort. Sie nehmen dazu die Richtung des geringsten Widerstandes. Das ist beim Einschuß das nächstliegende Luftgebiet. An dem Geschoßmantel entlang müssen die von der Druckhaube zuerst verdrängten Gewebsmassen in dem schmalen Schlitz, der zwischen Geschoßzylinder und dem Einschußkanal immer besteht, entgegen der Schußrichtung auf den Schützen zu fliegen. In dem Raum zwischen Einschußwand und Geschoß bildet sich so ein Zylindermantel primär bewegter Gewebsmassen aus. Dieses ist der von Kranzfelder gefundene „primäre zentrale Bewegungskern". Er besteht aus den Gewebsteilen, die in jedem Augenblick von der Druckhaube getroffen werden. Sein Volumen ist genau so groß, wie dem vom Geschoß eingenommenen Raum entspricht. Vor der Geschoßspitze ist zum Zustandekommen des primären zentralen Bewegungskerns eine erste Bewegung von Gewebsteilen erforderlich, deren Richtung von der Geschoßspitze abhängt. Beim plattköpfigen Geschoß müssen diese erstbewegten Teile senkrecht zur Geschoßbahn nach allen Seiten ausweichen, um sich erst dann in Anpassung an den Zylinderteil des Geschosses zu einem zylinderförmigen Bewegungsstrom zu formen. Je spitzer das Geschoß, umso mehr nähert sich die Erstbewegung der Richtung auf den Schützen zu. Die erstbewegten Teile müssen sich in einer Kurve um den Winkel zwischen Spitze und Zylinderteil des Geschosses bewegen. Um dafür Platz

zu finden, müssen sie die Gewebsteile, die den Winkel am Geschoßmantel umgeben, in radiärer Richtung fortstoßen. Durch diesen Vorgang beginnt die Bildung einer zweiten, dem primären zentralen Bewegungskern anliegenden Zone. Während der erstere ein immer vorhandenes geschlossenes System darstellt, das mit kinetischer Energie ausgestattet ist, wird die zweite Zone durch Umformung und Abgabe eines Teiles dieser kinetischen Energie mit potentieller Energie gleichsam aufgeladen.

Unmittelbar nach dem Eintritt der Geschoßspitze in das Gewebe finden sich regelmäßig drei verschiedene Energiesysteme: die potentiell-energetische Druckhaube, der kinetisch geladene primäre zentrale Bewegungskern und eine weitere, wiederum potentiell-energetische Zone. Die Richtung, in der die neue Zone vom primären zentralen Bewegungskern gebildet wird, hängt von der Form der Geschoßspitze ab. Unter Einbeziehung aller vorkommenden Geschoßformen muß diese Richtung in einem Winkel liegen, der von zwei Schenkeln begrenzt wird: Einem senkrecht zur Geschoßbahn und einem ihr parallel liegenden. Auch die Energie dieses Stosses richtet sich nach der Form der Geschoßspitze. Denn diese entscheidet darüber, ob das Geschoß seinen Querschnitt schneller oder relativ allmählicher in das Ziel einführt. Je unvermittelter der Gesamtwert der Querschnittsbelastung zur Geltung kommt, umso mehr Gewebsmassen werden in dem gleichen Zeitraum verdrängt d. h. seitlich rückwärts aus dem Einschuß geschleudert. Desto größer ist aber auch die Anfangsgeschwindigkeit des primären zentralen Bewegungskerns und die Größe der Energie, die er zur potentiellen Aufladung der zweiten Zone abgibt. Er verliert seine Geschwindigkeit in rückwärtiger Richtung umso schneller, je mehr Energie er an seinem Anfangsteil beim Umfliegen des Geschoßwinkels an die zweite Zone abgibt.

Namentlich über die Abhängigkeit der Geschoßwirwirkung von der Form des vorangehenden Geschoßteiles haben die photographischen Aufnahmen Kranzfelders (l. c.) klaren Aufschluß gegeben. Reichweite und Geschwindigkeit der sekundären Stoßfortpflanzung hän-

gen grundlegend von der Form des Geschoßkopfes ab. Je schlanker die Spitze ist, desto geringeren Verlust an Energie und Geschwindigkeit erleidet das Geschoß während der Zielpassage. Mathematische Berechnungen hatten ergeben, daß in dieser Beziehung ogivalköpfige Geschosse am günstigsten seien. Die Unrichtigkeit dieser Annahme wurde bewiesen. Im Ziel umgeben zylinderförmige Gebilde das Geschoß, die sich aus lamellär angeordnete Gewebsschichten zusammensetzten. Je schlanker der vorangehende Geschoßteil war, desto schmaler waren die Zylinderschatten. Als Vergleichswerte ergaben sich für spitz-, ogival- und plattköpfige Geschosse unter gleichen sonstigen Bedingungen 4,25, 4,75 und 5,5 cm. Kranzfelder fand folgendes Gesetz: „Die seitliche Stoßfortpflanzung ist unter sonst gleichen Geschoßverhältnissen sehr viel schneller beim Geschoß mit stumpfer als beim Geschoß mit schlanker Spitze". Die seitliche Stoßfortpflanzung erfolgt unbeeinflußt durch die Vorgänge, die sich hinter dem Geschoß abspielen. Sie ist aber auch in ihrem zeitlichen Ablauf unabhängig von der Gewebeart.

An keiner Stelle der vorliegenden Aufnahmen fliegender Geschosse lassen sich die Bilder mit der Annahme in Einklang bringen, es handele sich um Auswirkungen einer allgemeinen Druckerhöhung. Vielmehr finden sich regelmäßig mehrere deutlich unterscheidbare Zonen, die Wellen zu vergleichen sind, mit denen sich die Geschoßenergie seitlich auszubreiten scheint. Trifft ein sekundär fortgeleiteter Geschoßstoß auf Gewebeteile, so überwindet er in diesen zunächst sämtliche Widerstände. Sie verlieren infolgedessen jede Festigkeit und liegen völlig labil nebeneinander. Innere Reibung, Kohäsion, Elastizität etc. sind bis an die Grenze ihres Leistungsvermögens mobilisiert, dann erschöpft und überwunden, d. h. aufgehoben worden. Der Stoß ladet die Teile mit enormer potentieller Energie auf. Sie stehen in diesem Augenblick unter einem sehr hohen Druck. Dieser veranlaßt sie im nächsten Augenblick zu Fortbewegungen in der Richtung zum geringsten Widerstand. Mit dem Beginn dieser Bewegung üben die Teilchen ihrerseits einen Stoß auf die peripherwärts in Ruhelage befindlichen Gewebsgebiete aus. Sie geben da-

mit den Stoß weiter, den sie im Moment vorher selbst erhalten hatten. Durch diesen Mechanismus der sekundären Fortleitung eines Geschoßstoßes erklärt sich dessen wellenförmige Ausbreitung. Eine einfache strahlenförmige Fortleitung des Geschoßstoßes ist aber unmöglich. Die Weitergabe des Stoßes geschieht dadurch, daß Gewebeteilchen aus ihrer Gleichgewichtslage verschoben werden. Das ist etwas grundsätzlich Anderes als eine strahlenförmige Fortleitung, die sich nie durch Teilchenverschiebung sondern durch Erregung molekularer Schwingungen vollziehen würde.

Ist das Geschoß mit seinem ganzen Umfang in das Gewebe eingetreten, dann sind folgende 4 Zonen unterscheidbar:

Dem beschriebenen primären zentralen Bewegungskern liegt peripher als zweite Zone die der sekundären kinetischen Energie an. Auch sie ist zylinderförmig und liegt parallel zum Geschoß. Ihre Teilchen beginnen gerade, sich in der Richtung des geringsten Widerstandes fortzubewegen. Als dritte schließt sich die Zone der Hochspannung an. Sie ist sehr schmal und ebenfalls zylinderförmig. Sie besteht aus Teilchen, die bereits labil nebeneinander liegen. Sie haben den Geschoßstoß erhalten. Sie sind mit einem höchsten Maß potentieller Energie geladen. Im nächsten Augenblick würden sie in der Richtung des geringsten Widerstandes fortfliegen. Damit würden sie Teile der zentral anliegenden zweiten Zone. Der geringe Durchmesser dieser Schicht ist ein Maß für die Schnelligkeit, in der die Umsetzung potentieller in kinetische Energie erfolgt. Als Grenzschicht schließt sich die Zone der Stoßfortpflanzung an. Sie hat die Form eines Kegelmantels von umso größerer Winkelöffnung, je stumpfer das Geschoß an seinem vorangehenden Teile ist. Dieser Kegel beginnt etwas hinter der Geschoßspitze. Das Geschoß bildet mit seinem vorangehenden Teil gleichsam selber die Spitze dieses Kegels. Die ihm angehörenden Teile haben den Geschoßstoß soeben erhalten. Man könnte auch sagen, sie sind soeben in die kegelförmige Druckwelle mit einbezogen worden, welche die Geschoßspitze seitlich nach sich zieht. In ihr sind soeben alle Widerstandsenergien mobili-

siert bzw. überwunden worden mit Ausnahme der Trägheitsenergie. Denn die Teile sind wohl schon labil, aber noch nicht sämtlich in Verschiebung aus ihrer Gleichgewichtslage begriffen. Sie werden im nächsten Augenblick den Stoß an die peripher angrenzenden Teile abgeben. In jedem Augenblick finden sich jenseits der Zone der Stoßfortpflanzung die Teile in völliger Ruhe. Der Stoß ist noch nicht hierhin gelangt. Die Stoßübertragung hat an der peripheren Wand des Kegelmantels seine absolute Begrenzung. Diese Kegelwand repräsentiert die Form, mit welcher die Geschoßenergien auf die Widerstände stoßen, die vornseitlich vor dem Geschoß auftauchen. Diese Vorstellung, die wir Kranzfelder verdanken, gibt der Theorie von der hydrodynamischen Druckwirkung erst ein bestimmtes Gesicht. Ihre Anwendung erklärt sehr viele Geschoßwirkungen. Die Formulierung (l. c.), daß „über die Schicht der Stoßfortpflanzung hinaus eine Druckerhöhung oder eine Bewegung von Markmassen aus der Gleichgewichtslage niemals statthat", besteht noch zu recht. Dagegen können m. E. aber Auswirkungen der Geschoßenergien, deren Natur in Schwingungen der Teilchen innerhalb ihres Gleichgewichtsbereichs besteht, der Zone der Stoßfortpflanzung vorauseilen, wenn die Geschoßgeschwindigkeit unter der Schalleitungsgeschwindigkeit des betreffenden Mediums liegt. Nun können die Auswirkungen derartiger molekularer Schwingungsvorgänge aber schon in Formänderungen bestehen. Elastische Ausbiegungen von Gebilden größerer Elastizität können m. E. schon in dem „Ruhebezirk" erfolgen, der vor der Zone der Stoßfortpflanzung liegt. So kann der Stoß selbst dann auf eine bereits vom Geschoß verursachte Deformierung treffen.

Perthes (255) bewies die Seitenstoßwirkung indem er durch die Muskulatur Drähte legte. Nach dem Beschuß zeigten sie Ausbuchtungen mit der Konkavität zum Schußkanal. So wie die Einwirkungen auf diese Drähte lassen sich m. E. Fernschädigungen von Gefäßen und Nerven erklären, die vom Schußkanal nicht berührt wurden, von diesem vielleicht durch unverändertes Gewebe getrennt waren. So wird es m. E. auch erklärlich, daß Zusammenhangstrennungen an Gefäßen und selbst an Knochen nicht

an der Stelle der geringsten Entfernung zwischen Schußkanal und diesen Gebilden, sondern ober- und unterhalb dieser Stelle häufiger vorkommen. So muß es m. E. auch gedeutet werden, wenn ein Geschoß an einem Muskel vorbeifliegt, der zwischen dem Schußkanal und einem Knochen liegt, und dabei der Muskel intakt bleibt, während der Knochen ober- und unterhalb seiner größten Nähe zum Schußkanal frakturiert.

Der primäre zentrale Bewegungskern hört auf, sich zu bilden, sobald die Geschoßspitze die Ausschußwand durchdringt. Es besteht dann kein Material zu seiner Bildung mehr. In diesem Augenblick ändert sich aber auch die Richtung des geringsten Widerstandes. Lag diese bis dahin rückwärts von der Geschoßspitze, so besteht jetzt zwischen Geschoßmantel und Ausschußöffnung ein Schlitz, zu dessen Spreizung nur der Widerstand der Hautelastizität überwunden zu werden braucht. Schlagartig hören die rückwärtigen Bewegungen auf. Stattdessen dringen die Massen der sekundären kinetischen Zone durch die Ausschußöffnung. Gegen die Ausschußwand und gleichsam in diese hinein preßt sich aber sofort anschließend der Kegelmantel der Zone der Stoßfortpflanzung. Er prallt in einer peripher schnell wachsenden Ausdehnung gegen die Ausschußwand. Da am Einschuß dieses Moment fehlte, wird es verständlich, daß Infanterie-Volltrefer immer größere Aus- als Einschüsse verursachen.

Ein- und Ausschußverhältnisse haben wir m. E. aber nicht nur an den Grenzflächen zwischen Gewebe und Luft vor uns. Sie bestehen u. E. bei jedem Uebergang des Geschosses zwischen zwei Geweben verschieden großer Widerstandsenergien! Da die verschiedenen Widerstandsqualitäten zwischen den Geweben nicht in gleicher Weise wechseln, werden die Verhältnisse naturgemäß kompliziert.

Wenn das Geschoß das Ziel längst verlassen hat, wirkt sich der Seitenstoß erst voll aus. Bis zum Abklingen der Geschoßwirkung vergeht ein Vielfaches der Zeit, die zur Gewebspassage selbst erforderlich war. Für gleiche Geschoßformen ist die Zeitdauer einer Geschoßeinwirkung umgekehrt proportional der Geschoßenergie.

Besonders gut ließ sich das Verhalten der aus Ein- und Ausschuß strömenden Gewebeteile untersuchen. Beim Beschuß verschiedenster Substanzen war die Menge der in gleichen Zeiträumen aus Ein- und Ausschuß fließenden Gewebsteile gleichgroß. Einmal in Bewegung geratene Teile behalten ihre Richtung bei, bis sie auf einen Widerstand stoßen. Jedes aus dem Einschuß zurückstürzendes Teilchen zeigt bei Aufnahme mit der Töplerschen Schlierenmethode die charakteristischen Kopfwellen aus verdichteter Luft. Der Oeffnungswinkel der Wellen beweist, daß die Teile des primären zentralen Bewegungskernes mit höheren Geschwindigkeiten ausgestattet sind als die verursachenden Geschosse selber. Daraus muß die vom Geschoß zur Bildung des Bewegungskernes abgegebene Energie als sehr groß geschätzt werden. Je „humaner" ein Geschoß sich auswirkt, desto größer ist der Prozentsatz seiner kinetischen Energie, den es auf den primären zentralen Bewegungskern überträgt.

Während die aus dem Einschuß strömenden Massen mit der gekennzeichneten Geschwindigkeit zunächst hart am Geschoßmantel zurückfließen, breiten sie sich plötzlich radiär zur Geschoßachse wie ein flacher Pilz aus. Dieser Vorgang ist als ein Ausweichen zwischen dem Luftwiderstand und den nachdrängenden Teilchen in der Richtung des geringsten Widerstandes zu deuten.

Es konnte noch nicht beobachtet werden, welche Vorgänge sich am Geschoßboden abspielen. Für Sog- und Strudelbildungen sowie zentrifugale Energieauswirkungen fanden sich bisher keine Anzeichen. Sie konnten aber auch nicht ausgeschlossen werden. Ihr Vorkommen ist theoretisch anzunehmen.

Die Beobachtung wundballistischer Wirkungsabläufe hat eine Fülle neuer Gesetzmäßigkeiten aufgezeigt. Diese Ergebnisse ordnen sich im wesentlichen harmonisch dem Rahmen ein, den die Lehre von der allgemeinen Geschoßwirkung durch die Analyse von Beschußpräparaten geschaffen hat.

Als Ergebnis aller Untersuchungen der allgemeinen Wundballistik kann die Frage nach dem Wesen der Ge-

schoßwirkung in folgender Weise zusammengefaßt beantwortet werden:

Die Geschoßwirkung ist als ein umschriebener Stoß zu kennzeichnen, der kontinuierlich auf das angrenzende Gewebe an jedem Punkt ausgeübt wird, den der vorangehende Geschoßteil trifft. Die Folge ist eine wellenförmig ablaufende seitliche Stoßfortpflanzung. Sie wird peripherwärts dadurch von der Geschoßbahn fortgeleitet, daß die betroffenen Teile sich mit hoher kinetischer Energie aus ihrer Gleichgewichtslage fortbewegen. Sie wirken als Sekundärgeschosse. Das Geschoß überholt fortgesetzt den Seitenstoßablauf durch seine größere Geschwindigkeit. Nach meinen Folgerungen werden durch das Geschoß und durch die Seitenstoßvorgänge verschiedene Widerstandsreaktionen molekularen Charakters ausgelöst, die schneller als ein Infanteriegeschoß ablaufen und sich vor diesem und dem Seitenstoß her radiär nach allen Seiten ausbreiten. Das Zusammenwirken direkt fortgeleiteter, reflektierter und interferierender molekularer Widerstandsschwingungen kann nach eigenen Ueberlegungen noch fernab von der Geschoßbahn zur Ueberschreitung der Festigkeitsgrenze im Gewebszusammenhalt und infolgedessen zu Strukturzerrüttungen führen. Das Vorkommen derartiger Vorgänge wurde an Beschußpräparaten noch nicht bewiesen. Sie sind zunächst ein theoretisches Postulat. Ihre Voraussetzungen, die aus der Technik bekannt sind, werden bei vielen Schußverletzungen geschaffen. Dagegen sehe ich in den beobachteten Reaktionen der Haut auf Geschoßwirkungen den vollgültigen Beweis dafür, daß Elastizitätsreaktionen schneller ablaufen als Infanteriegeschosse sich fortbewegen.

III. Spezielle Wundballistik.

Unsere obigen Ableitungen gestatten die Anwendung neuer Gesichtspunkte in der Deutung vieler topographisch bedingter typischer Verletzungsformen, deren bisherige Erklärung nicht befriedigte. Eine Auswahl derartiger Folgerungen soll in den folgenden Skizzen aus dem Gebiet der speziellen Wundballistik dargestellt werden. Z. T. verursachen molekulare Schwingungswiderstände erhebliche Einschränkungen der vom Geschoß bewirkten bleibenden Veränderungen. In anderen Körperregionen veranlassen sie funktionell schwerwiegende Verletzungen außerhalb des Schußkanals, die durch primäre Verschiebewiderstände nicht zustande kommen würden!

1. Haut.

Die menschliche Haut ist mit einer sehr großen Elastizität ausgestattet. Sie kommt am stärksten zur Geltung, wenn die Haut keiner Spannung unterliegt, wie in der Achselhöhle und an der Mamma.

Am Einschuß bildet sich ein primärer zentraler Bewegungskern, sobald die Geschoßspitze das subkutane Fettgewebe erreicht hat. Die zurückstürmenden Massen drängen die Haut beiseite, die elastisch nachgibt und sich kegelförmig zum Schützen hin vorwölbt. Durch diesen schnell ablaufenden Vorgang wird die erste sehr kleine Oeffnung soweit gedehnt, daß der Gesamtumfang des Geschosses ohne weitere Vergrößerung des Einschusses hindurchgeht. Zugleich treten einige kleine radiäre Einrisse auf. So kommt es, daß axial auftreffende zylinderförmige Geschosse immer kleinere Einschüsse verursachen als dem Kaliber entspricht. Steht die Haut unter großer Spannung oder liegt sie gleichzeitig einer harten Unterlage auf, so kann der Einschuß spaltförmig werden, und zwar infolge

der größeren Elastizität senkrecht zum Verlauf der Spaltlinien der Haut. Im übrigen kann je nach Geschoßform und Auftreffwinkel jede Einschußform entstehen. Der Mechanismus ist immer deutlich. Die nekrotische Randzone ist keine primäre Geschoßwirkung. Größere Zerreißungen am Einschuß sind durch die Form der aufschlagenden Fläche bedingt. Die Seitenstoßübertragung kommt am Einschuß kaum zur Geltung.

Der Ausschuß ist in seiner Form ebenfalls abhängig neben Kaliber und Auftreffwinkel von der Elastizität der Haut. Er wird aber wesentlich mitbedingt durch die Form, in der die Zone der seitlichen Stoßfortpflanzung auf ihn einwirkt. Diese hat die Gestalt eines Kegels, der sich mit seiner Spitze gleichsam in die Ausschußöffnung zu zwängen sucht und sich mit seiner weiteren Wand innen seitlich vom Ausschuß staucht. So werden auf die Ausschußwand zirkuläre Stoßwirkungen ausgeübt, deren Figuration als Kegelschnitt zu berechnen ist. Die Energie der seitlichen Stoßfortpflanzung spielt immer eine besondere Rolle. So kommt es, daß nur bei Bleigeschossen der Ausschuß im Durchschnitt kleiner als der Einschuß ist. Spielte am Einschuß der Bleicharakter noch keine Rolle, und war da nur die Form entscheidend, so wirkt sich am Ausschuß der große Energieverlust des Bleigeschosses und die unregelmäßige Ausbildung der seitlichen Stoßfortpflanzung in einem stärkeren, die Geschoßwirkung hemmenden Einfluß der Hautelastizität aus.

2. Muskeln.

Auch die Muskulatur besitzt eine hohe Elastizität. Die Zone der seitlichen Stoßfortpflanzung führt in ihr daher zu keiner nennenswerten Strukturzerstörung. Das wäre nicht möglich, wenn der Elastizität die Zeit fehlte, sich auszuwirken. Sind die Zonen der kinetischen Energie schmal wie bei Geschossen mit hoher lebendiger Kraft, so kann als Geschoßwirkung oft nur eine schmale zackige Linie resultieren. Bei Volltreffern wurde das häufig beobachtet. Anders wird das Bild bei unregelmäßiger Geschoßform. Größte Zerstörungszonen bilden sich aus, sobald das Ge-

schoß etwas schneller als die elastische Ausweichbewegung ist, so bei den rasanten Granatsplittern.

3. Knochen.

Die hydro-dynamische Druckwirkung gilt streng genommen nur für Flüssigkeiten. Im Prinzip ändert sich aber bei Geweben, wie die Knochen sie darstellen, nichts. Nur die Widerstandsfaktoren werden von erheblich anderer Größenordnung. Gegenüber der Geschoßenergie wird das Gesamtverhältnis Geschoß : Gewebe dadurch kein grundsätzlich anderes. Die Ausbildung der Zone der seitlichen Stoßfortpflanzung ist auch ohne Ueberwindung der Knochenfestigkeit möglich.

Im Augenblick des Eindringens der Geschoßspitze in die Knochenwand stürzen schon die ersten Teile des primären zentralen Bewegungskernes heraus. Der Knochen zeigt eine Aufdellung gegen den Schützen zu, die seitlich wellenförmig fortschreitet und in der Mitte zurückfedert. Der Knochen biegt sich in seiner Gänze über dem Einschuß um eine senkrecht zum Schußkanal stehende horizontale Achse mit der Konkavität zur Waffe und federt wieder zurück. An der oberen und unteren Begrenzung des Federungsbereichs kann es durch lokalisierte Ueberdehnung mittels des langen Hebelarmes der halben Federungslänge u. E. leicht zu indirekten bzw. unvollständigen Frakturen oder doch Schubzonen im Knochen kommen. Im Augenblick des Eindringens bildet sich ferner die seitliche Stoßfortpflanzung aus. Sie führt sofort zu einem Aufbrechen des Knochenmantels, noch bevor das Geschoß ganz in den Schußkanal eingetreten ist. Auf die seitliche Knochenwand überträgt sich der Geschoßstoß mit einer Stärke, die umgekehrt proportional dem Radius der Knochenausdehnung in der Einschußtangentialebene ist und die proportional dem Widerstand ist. Je härter und dicker eine Knochenplatte ist, desto größer sind die Absprengungen. An Röhrenknochen ist der Radius in der Längsrichtung am größten. Hier kommt die Seitenstoßwirkung also am wenigsten zum Ansatz. Dagegen wirkt sie am stärksten im kleinsten Querschnitt, weil in dieser Richtung bei dem stark gekrümmten Knochen der Radius sehr klein ist, ähnlich wie

beim gewölbten Schädeldach. Durch diese Ansatzrichtung der seitlichen Stoßfortpflanzung entstehen Sprünge, die in spitzem Winkel von der Längsachse abweichen.

Der primäre zentrale Bewegungskern stürzt aus dem Einschuß zurück. Er besteht aus Markmassen und Knochengruss. Mit enormer kinetischer Energie — er fliegt schneller als das Geschoß selbst — hebelt er die durch den Seitenstoß entstandenen radiären Knochenlamellen ab. Er ruft in ihnen zirkuläre Sprünge hervor; dadurch verlieren sie ihren Zusammenhalt an der Basis und werden zu Splittern. Ist die Energie des Bewegungskernes groß, so benötigt er zum Abhebeln nur einen kleinen Hebelarm. Die Splitter werden dann klein. Sie werden größer, wenn die kinetische Energie kleiner wird. Da diese aber ein unmittelbarer Ausdruck der lebendigen Kraft ist, die das Geschoß hat, gilt der Satz: Die Ausdehnung der Splitterzone ist für gleiche Geschoßform umgekehrt proportional der Geschoßenergie. Wir möchten hinzufügen: die Splitterlänge ist unter gleichen sonstigen Bedingungen proportional der Federungsenergie. Auch hier darf ich darauf hinweisen, daß eine bisher nicht beachtete Voraussetzung dieses Wirkungsablaufs darin besteht, daß die Federung schneller erfolgt als der primäre Bewegungskern zurückfliegt. Ihrer molekularen Schwingungsnatur zufolge ist sie dazu bis zu einer Grenze in der Lage, die durch die Geschwindigkeit der Granatsplitter übertroffen werden kann. Von einer bestimmten Geschoßgeschwindigkeit ab muß nach unserer Ueberlegung die Schußfraktur völlig anders entstehen als sie bisher beobachtet und hier beschrieben wurde. Die Zerstörungszone muß dann ein regelloseres Bild bieten, aber seitlich stärker abgegrenzt sein. Ich glaube daher zu der folgenden Schlußfolgerung berechtigt zu sein: Geschosse von gleicher Form und gleichem Kaliber rufen meist humanere Verletzungen hervor und sind gleichzeitig militärisch erheblich wirksamer, sobald ihre Zielgeschwindigkeit die Schnelligkeit molekularer Widerstandsbewegungen übertrifft. Wäre eine solche Geschwindigkeitssteigerung für Infanteriegeschosse möglich, so würden sie u. E. den gleichen Wundschock hervorrufen wie die rasantesten Granatsplitter glei-

cher Größe. Die Kampfunfähigkeit des Getroffenen wäre dann auch durch sehr viel kleinere Kaliber als die bisher üblichen mit Sicherheit zu erzielen.

Im Augenblick des Einschusses entsteht jene schmetterlingsfigurartige Seitensplitterung an Röhrenknochen, die um so größer ist, je mehr sich die Knochenform von einer Zylinderform unterscheidet. Die Federungsenergie der Knochen ist sehr groß. Wenn der primäre zentrale Bewegungskern eine Knochenlamelle abhebelt, so hat diese zuerst nachgegeben und ist im Zurückfedern gegen den anstürmenden Bewegungskern begriffen. Oft federn abgehobene Knochenzacken zurück ohne abzubrechen. An der Federungsbasis sind u. E. dann feinstgewebliche Veränderungen der Struktur zu erwarten.

Das Knochenmark ist an allen diesen Vorgängen kaum beteiligt. Seine Masse ist zu gering, um wesentliche hydrodynamische Druckwirkung zu entfalten. Das Mark führt den entstehenden Sprünge etwas schneller fort, verlängert sie etwas und schafft dazwischen Komminutivfrakturen.

Der Sprachgebrauch der explosiven oder Sprengwirkung ist historisch mit der Vorstellung verknüpft, das Geschoß rufe eine Drucksteigerung hervor, die ein Maximum im Knochen erreiche und dann zu einem plötzlichen Zerspringen führe. Es ließ sich zeigen, daß die Splitterung ein relativ einfach und nacheinander ablaufender Vorgang ist, dessen Schnelligkeit nur den Anschein erweckt, als ereigne er sich in einem Augenblick. 10—20mal länger als die Geschoßpassage dauert die Entwicklung der ganzen Zerstörung. Das getroffene Gewebe kommt um so schneller wieder zur Ruhe, je größer die kinetische Energie des Geschoßes ist.

Entscheidende Bedeutung für die Form und Ausdehnung einer Schußfraktur haben Geschoßform und Art des Auftreffens. Es kann diesbezüglich aber auf die allgemeine Wundballistik verwiesen werden.

Die Erfahrung lehrt, daß entsprechend den oben charakterisierten Fernwirkungen der Geschosse Fissuren in Knochen und Gelenken noch weit vom Schußkanal entfernt vorkommen, über deren Zustandekommen keine genauen

Vorstellungen bestanden. Während die Ausdehnung der Splitterungszone an den einzelnen Gliedmaßen bei Schußdistanzen zwischen 50 und 2000 m annähernd konstant bleibt, zeigen die Fissurbildungen keine statistisch faßbare Regelmäßigkeit. Häufig wurden nach einem Schuß Frakturen röntgenologisch abseits vom Schußkanal gefunden, die klinisch erst nach Tagen oder überhaupt nicht manifest wurden. Es zeigten sich auch Fissuren, die röntgenologisch länger waren als autoptisch bestätigt werden konnte. Die vom Geschoß ausgelösten molekularen Widerstandsreaktionen verschiedenster Prägung reichen nun sehr weit. Sie führen durch Schwingungsvorgänge oft bis an die Grenze der Festigkeit. Trifft in diesem Augenblick ein beliebig denkbarer Faktor die Zone, die sich an der Grenze der Gleichgewichtsstabilität befindet, im Sinne einer Beanspruchung auf Festigkeit, so muß es zu Strukturzerrüttungen fein- und feinstgeweblicher, aber u. U. auch makroskopischer Art kommen. Diese brauchen nicht immer röntgenologisch nachweisbar zu sein, wenn ihr Entstehungsmechanismus in betracht gezogen wird. Wir haben nun eine latente Fraktur vor uns, die durch eine alltägliche Beanspruchung des Knochens wie Umdrehen im Bett etc. eine Fraktur manifest werden läßt. Derartige verspätete Frakturen wurden oft beobachtet.

Zum Zusammenhalt fissurierter und frakturierter Knochen erweist sich das Periost als außerordentlich gut geeignet. Es ist meist weniger zerstört als der Knochen. Es zeigt eine große Elastizität und Festigkeit, wodurch es in der Lage ist, auch bedeutende Stöße aufzufangen und zurückzugeben. Der relativ spröden Knochenmasse dient es bei Zerrüttungsgefahr als schienender, federnder und stoßdämpfender Halt.

4. Schädel.

An keinem anderen Körperteil kommt die hydrodynamische Druckwirkung so zur Geltung wie am Gehirn. Ein enthirnter Schädel bietet einfache Verhältnisse und zeigt im allgemeinen nur Lochschüsse. Anders reagiert der Schädel des lebenden Menschen. An Ein- und Ausschuß kommt

es zu radiären Splitterungen, die wesentlich vom Auftreffwinkel abhängen. Zirkuläre Sprungsysteme um den Ausschuß entsprechen mathematisch den Kegelschnitten zwischen dem Mantel der Seitenstoßfortpflanzung und der Schädelkalotte, sind also wesentlich mitbedingt durch den Winkel zwischen Schußkanal und Schädeloberfläche.

Im Gehirn bilden sich um den Schußkanal konzentrische Zylindermäntel wechselnder Stoß- und Druckschwingungen, die senkrecht zum Schußkanal auf die Schädelkapsel einwirken. Bei Geschossen mit sehr großer Energie, die unmittelbar an der Basis verlaufen, kann durch sehr schmale Zonen größter kinetischer Energie das Gehirn selbst fast unverletzt bleiben. Zusammengehalten durch die elastischen Hirnhäute, wird es in seiner Gesamtheit zur Zone der seitlichen Stoßfortpflanzung. Es wird zugleich mit einer sehr hohen Geschwindigkeit ausgestattet. Wie ein fester Körper stößt es nun gegen die gesamte Innenseite des halben Schädels. In dieser breiten Ausdehnung aber muß u. E. der Schädel wie ein spröder Körper wirken. Elastische Abfangschwingungen sind ihm nur innerhalb kleiner tangentialer Flächen möglich. Ich darf folgern, daß das Gehirn bei diesen Schüssen den Schädel in der Richtung seiner geringsten Elastizität trifft und infolgedessen in zahllose Stücke frakturiert. Das Gehirn kann als Ganzes weit fortfliegen. So entsteht der Krönlein-sche Schädelschuß (186). Bei allen Geschossen mit hoher kinetischer Energie ist die Seitenstoßwirkung auf den knöchernen Schädel um so größer, je breiter die Markmasse zwischen Schußkanal und Knochen ist. Für die knöchernen Verletzungen ist daher ein Geschoßweg durch die Hirnmitte am günstigsten. Bei Diametralschüssen kommt es leicht zu Basisfrakturen.

Die geringsten Verletzungen zeigt die Schädelhaut. Sie ist außerordentlich elastisch und kann fast intakt sein, während darunter die Knochen in viele Teile zersprungen sind.

Das Gehirn zeigt in jenen Zonen völlige Zerstörung, die mit kinetischer Energie ausgestattet waren. Dagegen ist die Region der Stoßfortleitung makroskopisch oft kaum verändert. Die hohe potentielle Energie und Druckspan-

nung, mit der sie geladen war, führt dagegen u. E. zu stärksten molekularen Schwingungen und an zahlreichen Stellen zu kleinsten Ueberschreitungen der Festigkeitsgrenze. Dadurch erklärt es sich, daß die feinstgewebliche Struktur zahlreiche Veränderungen aufweist. Genewein (126) fand nekrotische Zonen fernab vom Schußkanal. Makroskopisch finden sich zahlreiche Blutungen.

5. Rückenmark.

Schußverletzungen der Wirbelsäule gewinnen ein besonderes Interesse durch die topographische Einbeziehung des Rückenmarks. Häufiger als direkte Zerstörungen sind Funktionsstörungen durch Geschosse, die das Rückenmark gar nicht berührt haben. Bei diesen ist die Dura meist intakt. Die Läsion erklärt sich durch den Seitenstoß des Geschosses. Die elastische Dura fängt ihn zum großen Teil ab. Im Mark kommt es dagegen zu feinsten Zerstörungen der Struktur. Schwieriger erscheint die Erklärung vorübergehender Funktionsaufhebung. Manche Autoren sehen eine bedeutende Einwirkung auf das Mark darin, daß außerhalb des Wirbelkanals vom Geschoß getroffene Nerven am Mark zerren. Die Notwendigkeit einer solchen Annahme liegt aber meist nicht vor. Zur Seitenstoßübertragung fehlt es zwischen Geschoß und Mark selten an Substanz. Häufig ist eine doppelte Leitungsaufhebung gleichzeitig ober- und unterhalb des Geschoßkanals festzustellen. In solchen Fällen muß m. E. folgender Mechanismus angenommen werden: Der Seitenstoß ruft molekulare Schwingungen im Mark hervor, die sich auf eine Strecke neben dem Geschoßkanal beschränken. Es kann zu einem wenn auch nur geringen federnden Ausbiegen des Rückenmarks kommen analog den Drähten von Perthes (255). Eine zerrüttende Struktureinwirkung ist innerhalb des schwingenden Teiles nicht erforderlich. Dazu kann es leichter an den Stellen kommen, an denen der schwingende an den ruhenden Abschnitt grenzt oder an den beiden Schnittpunkten zwischen dem Markstrang und dem kegelförmig zu denkenden Seitenstoß. Hier müssen das Ueberschreiten der Festigkeitsgrenze und die Entstehung von Schubzonen eher zu erwarten sein. So sind

die Verletzungen des Marks ober- und unterhalb vom Schußkanal verständlich. Kleinste Teile geraten aus ihrer Gleichgewichtslage; sind diese genügend zahlreich, so ist die Leitungsfähigkeit aufgehoben. Die gute Verteilung der Zerrüttungsinseln gewährleistet eine schnelle Wiederholung.

6. Hals.

Im Weltkrieg waren Schußverletzungen des Halses eine relativ seltene Todesursache. Die Erklärung dafür muß aber in der Kleinheit des Körperteils gesehen werden, d. h. in der damit verbundenen geringen Treffwahrscheinlichkeit. In Anbetracht der zahlreichen lebenswichtigen Organe am Hals waren die Schäden meist sehr groß. Viele fast unverständlich günstig abgelaufene Schüsse erklären sich durch die Haltung des Halses im Augenblick der Verletzung. Es wurden aber eindeutig Schüsse beschrieben, die den Hals von oben hinten nach unten vorne durchdrangen ohne eines der auf ihrem Wege liegenden wichtigen Organe zu verletzen. Hier haben u. E. elastische Ausweichreaktionen vorgelegen, die dem Geschoß rechtzeitig genug die komplikationsfreie Passage ermöglichten. Die Seitenstoßwirkung muß aber durch die Nachbarschaft von Sympathikus und Vagus schwere allgemeine Reaktionen verursachen. Solche wurden auch tatsächlich oft beschrieben.

7. Thorax.

Thoraxverletzungen hängen entscheidender als alle anderen von der Geschoßform ab. Sie sind in 40 % der Fälle tödlich. Von großer Bedeutung ist die Unterscheidung zwischen Brust- und Brustwandschüssen. Verletzungen der Brustwand auch ohne Zerstörung der Pleura können ausgedehnte Infarzierungen der anliegenden Lungengebiete herbeiführen. Wir glauben dafür die Seitenstoßübertragung verantwortlich machen zu können, die sich bis zur Thoraxmitte in kleinen Blutungen äußern kann. Es muß m. E. ein beträchtlicher Unterschied sein, ob Schüsse in maximaler Expirations- oder Inspirationsstellung auftreten. Die stoßauffangende Elastizität der Alveolen kann am

besten in Inspiration zur Geltung kommen; die Zerstörung wird dann am geringsten sein. Es folgt aber auch eine federnde Reaktion des gesamten Brustkorbes auf den Geschoßstoß. Ist diese sehr stark, so sind intrathorakale Gewebszerstörungen die Folge. Klinisch ergibt sich das Bild der Thoraxkontusion. Schußverletzungen, die die Lunge durchdringen, können ohne Allgemeinerscheinungen unter Hinterlassung eines nur schmalen Schußkanals ablaufen. Bei ganz ähnlichen Schüssen wurden aber auch größte Zerstörungen in der Umgebung des Schußkanals und Rückwirkungen auf das Mediastinum gefunden. Der Unterschied beruht m. E. auch hier auf dem Füllungszustand der Alveolen.

8. Bauch.

In der Häufigkeit von 1 : 30 wurden nach Schmieden (27) auch im Weltkriege die sog. Glücksschüsse beobachtet, bei denen sich ein Geschoß durch die Darmschlingen gleichsam hindurchschlängelte ohne sie zu verletzen. Es handelte sich nur um Infanterie-Mantelgeschosse, die axial auftrafen. Daß die Geschosse dabei tatsächlich die Darmschlingen beiseitedrängten, ist bewiesen. Denn sie kamen nur dort vor, wo die Darmteile genügend frei beweglich waren. Bisher wurden diese Schüsse für unerklärlich gehalten. Ich konnte oben aber zeigen, daß das Ausweichen eines Darmes als eine Elastizitätsreaktion viel schneller erfolgt als ein Infanteriegeschoß sich fortbewegt. Damit glaube ich die „Glücksschüsse" erklärt zu haben. Verletzungen parenchymatöser Organe fielen durch geringe Blutung auf. Die stupuröse Wirkung des Seitenstoßes auf die Gefäße und der durch die Stoßfortleitung bedingte Quetschwundencharakter machen das u. E. verständlich. Leberkuppenblutungen bluten besonders stark. Die Ursache möchten wir in der Aufhebung des primären Gefäßstupors durch den Unterdruck des Zwerchfells sehen. Werden flüssigkeitsgefüllte Darmabschnitte oder parenchymatöse Organe getroffen, so sind die entstehenden sehr starken Zerstörungen durch den besser zur Entwicklung kommenden hydrodynamischen Druckmechanismus zu erklären. Es kommt darauf an, daß die Vorbedingungen einer um-

schriebenen Stoßwirkung erfüllt sind. Sie sind es nicht, wenn die getroffene Wassersäule nicht wesentlich breiter als das Geschoßkaliber ist. Tritt das Geschoß durch eine elastische Wand, z. B. in die Gallenblase, so sind m. E. die Bedingungen eines Einschusses gegeben. D. h. bei axialem Auftreten wird das Einschußloch sehr viel kleiner als das Kaliber. Ebenso muß ein derartiges Verhalten beim Magen und an Gefäßen häufiger vorkommen. Genau umgekehrt glaube ich eine Ausschußsituation darin erblicken zu dürfen, wenn das Geschoß aus flüssigkeitsreicher Substanz, etwa aus der Bauchmuskulatur, in eine luftgefüllte Darmschlinge vorstößt. Die Verletzung muß m. E. dann wie bei jedem Ausschuß erheblich werden.

IV. Aufgaben und Möglichkeiten.

In groben Zügen besitzen wir ein Verständnis der allgemeinen und speziellen wundballistischen Wirkungsabläufe. Zahllose Einzelheiten sind uns jedoch noch unbekannt. In der vorliegenden Arbeit wurden einige Schritte auf dem eingangs gezeigten Weg des Studiums der beiden Faktorengruppen der Geschoßwirkung versucht, der Geschoßenergien einerseits und der Widerstandsenergien andererseits. Namentlich die Analyse der letzteren verspricht noch eine wesentliche Förderung wundballistischer Erkenntnisse. Die neuerdings im Ultrazeitlupenfilm wieder aufgenommene Methode Kranzfelders gestattet die Lösung vieler Fragen einfach abzulesen. Es bleibt aber zu bedauern, daß wir vorerst noch auf Schattenrißbilder angewiesen sind und den Vorgang der Geschoßwirkung noch nicht unmittelbar beobachten können.

Zusammenfassung.

Im Rahmen einer kurzen Darstellung des darüber bisher Bekannten wurde die „Wundballistik" definiert als die Wissenschaft von der Geschoßwirkung im menschlichen Körper. Nach begründeter Unterteilung in eine allgemeine und spezielle Wundballistik wurden deren Arbeitsbereiche beschrieben. Als wichtige und bisher nur wenig berücksichtigte wundballistische Arbeitsmethode neben Beschußanalysen und Zeitlupenfilmen wurde das theoretische Studium der Widerstandsreaktionen der Gewebe auf Geschoßeinwirkungen in den Vordergrund gestellt. Durch deduzierendes Vorgehen wurden folgende Ableitungen gefunden:

1. Die Methode der rein statistischen Deduktion hat in der Geschichte der Wundballistik zu schwerwiegenden Fehlschlüssen geführt. Daher ist in der kriegschirurgischen Anwendung eine scharfe Unterscheidung zwischen statistisch ermittelten wundballistischen Hypothesen und bewiesenen Theorien einzuhalten. Während bisher zur Erklärung wundballistischer Wirkungsmechanismen meist statistisch vorgegangen wurde, ist festzustellen, daß dieser Weg noch nie bewiesen hat, wie eine Geschoßwirkung zustande kommt und auch in Zukunft keine Bedeutung haben kann. Z. B. erübrigten sich viele Tausende von Schußversuchen über den Anteil der rotatorischen Energie an der Geschoßwirkung durch die bekannte technische Feststellung, daß sie bis zu 0,6 % der translatorischen Energie beträgt.
2. Die Gesamtheit der Widerstandsqualitäten der Gewebe ist wundballistisch streng in zwei Gruppen zu unterteilen, die als „primäre Verschiebewiderstände" und als „molekulare Widerstände" bezeichnet wurden. Die Mobilisierung primärer Verschiebewiderstände hat eine bleibende Veränderung der Gewebestruktur immer pri-

mär zur Folge. Die molekularen Widerstände bewirken dagegen bis zu einem bestimmten Grenzwert reversible Form- und Volumenänderungen. Sie können auf Geschoßeinwirkungen mit großer Geschwindigkeit reagieren.

3. Der Wirkungsablauf molekularer Widerstandsenergien übertrifft an Schnelligkeit die Geschwindigkeit der Infanteriegeschosse.
4. Geschoßwirkungen, die auf der Umformung kinetischer Geschoßenergie in molekulare Widerstandsenergien beruhen, pflanzen sich vor dem Geschoß her und radiär von seiner Flugbahn schneller fort als das Geschoß selber fliegt.
5. Das Geschoß kann durch ihm vorauseilende Geschoßwirkungen auf ein nach Form und Volumen bereits verändertes Gewebe treffen.
6. Widerstandsreaktionen, die in molekularen Schwingungsvorgängen bestehen, können fernab vom Geschoßweg durch Interferenz, Reflexion und andere Phänomene der Wellenmechanik zu Ueberschreitungen der Festigkeitsgrenze und dadurch zu feinstgeweblichen Strukturzerrüttungen führen.
7. Der Bereich einer Schußverletzung wird durch die physikalisch mögliche Reichweite der vom Geschoß im Augenblick des Beschusses ausgelösten molekularen Widerstandsreaktionen gegeben.
8. Die bisherigen filmischen Beobachtungen über den Entstehungsmechanismus der Schußfrakturen gelten nur für Zielgeschwindigkeiten unterhalb der Reaktionszeit molekularer Widerstände.
9. Der Vorgang der Geschoßwirkung verläuft in zwei prinzipiell verschiedenen Formen, je darnach ob die Zielgeschwindigkeit oberhalb oder unterhalb der Reaktionszeit der in molekularen Schwingungen bestehenden Gewebewiderständen liegt.
10. Geschosse der bisher üblichen, aber auch sehr viel kleinerer und kleinster Kaliber, deren Zielgeschwindigkeit den Ablauf der schnellsten molekularen Wider-

standsreaktionen im Gewebe, namentlich der Elastizität übertrifft (über 1500 m/sec), rufen nicht nur völlig andere Wunden sondern auch eine sehr viel größere allgemeine Schockwirkung als die bisherigen langsameren Geschosse hervor. Da die Kampfunfähigkeit eines Verwundeten meist wesentlich von der schockartigen allgemeinen Rückwirkung der Verwundung auf das Allgemeinbefinden abhängt, ist von Geschossen mit Geschwindigkeiten über 1500 m/sec eine größere militärische Wirksamkeit zu erwarten, während durch Verwendung kleinerer Kaliber zugleich humanere Verletzungen angestrebt werden können.

11. Die größere Schockwirkung mancher Granatsplitter beruht darauf, daß durch ihre Geschwindigkeit, die bis zu 2000 m sec. betragen kann, die elastische Abfangwirkung in den Geweben nicht zur Geltung kommt.
12. Elastische Gebilde wie Nerven, Gefäße, Pleurablätter etc., sind in der Lage, einem Geschoß unversehrt auszuweichen, sobald sie in bestimmter Weise dazu veranlaßt werden. Sie können z. B. von der Druckhaube auf der Geschoßspitze oder durch vor dem Geschoß liegende Gewebe, die bereits in elastischer Ausweichbewegung begriffen sind, getroffen werden. Durch diesen Mechanismus erklären sich,
    a) daß der Einschuß meist viel kleiner als das Geschoßkaliber ist.
    b) Schüsse durch den Interpleuraspalt oberhalb der Komplementärräume ohne Verletzung der Pleurablätter.
    c) Die sog. „Glücksschüsse" durch das Abdomen ohne Darmverletzungen.
    d) Unversehrtheit von Nerven und Gefäßen auf dem Geschoßwege, namentlich auch am Halse.
    e) Der oft winzige Zerstörungsspalt in durchschossenen Muskeln.
13. Wird der Thorax in Inspirationsstellung durchschossen, so kann die Geschoßwirkung von den Alveolen erheblich besser aufgefangen werden und die Prognose wird wesentlich günstiger als bei Schußverletzungen des Thorax in Exspirationsphase.

14. Der Krönleinsche Schädelschuß wird dadurch mitbedingt, daß das Gehirn den Schädel in der Richtung seiner geringsten Elastizität trifft.

15. Die besonderen Wirkungsmechanismen beim Ein- und Ausschuß finden sich im Prinzip auch auf dem Geschoßwege im Körper an jeder Grenzfläche zwischen Geweben verschiedener Widerstandsenergien.

16. Schußversuche an Leichen ergeben stark verzerrte Ergebnisse durch den Umstand, daß die z. T. an den vitalen Funktionsablauf gebundenen molekularen Widerstände stark abnehmen bzw. schwinden, während die primären Verschiebewiderstände zunehmen. Deshalb können gerade die bisher noch nicht hinlänglich bekannten komplizierteren Geschoßwirkungen an Leichen nicht vorkommen.

17. Durch ein Geschoß verursachte Schwingungen etwa der Marksäule führen besonders leicht an den Knotenpunkten der Schwingungen zu Strukturschädigungen. Dadurch erklären sich doppelte Markläsionen ober- und unterhalb eines neben dem Wirbelkanal verlaufenden Geschoßweges. Die Lage der Knotenpunkte kann durch die Schnittpunkte zwischen Marksäule und der Kegelwand der Zone der seitlichen Stoßfortpflanzung bedingt sein.

18. Ausgedehnte Infarzierungen um den Schußkanal in parenchymatösen Organen sind durch den Seitenstoß erklärt; die mit ihm verbundene Hochdruckspannung ruft einen in größerer Ausdehnung generalisierten Gefäßstupor hervor. Dadurch ist das geringe Bluten durchschossener blutreicher Organe zu verstehen sowie starke Nachblutung bei Lösung des Stupors.

Ich erlaube mir, Herrn Oberarzt Dozent Dr. Haase für die freundliche Veranlassung zur Beschäftigung mit der Geschoßwirkung und für die Genehmigung des Themas meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen.

Literatur.

1. Adler, Beitrag zu den perforierenden Schußverletzungen des Magens. Klin. Wschr. (1914), 1781—1784.
2. Amat, Essai critique et clinique sur le taitement des lésions traumatiques de l'abdomen par projectiles de petit calibre. Gaz. méd. de Paris (1892), 13—17.
3. Anschütz, W. u. M. Kappis, Die Kriegsverletzungen der oberen Extremität. In: Nr. 27 ds. Verz., 770—849.
4. Axhausen, Georg und Franz Kramer, Die Kriegsverletzungen des Hirnschädels. In: Borchard, A. u. W. Schmieden, Die Deutsche Chirurgie im Weltkrieg 1914—18. 2. Aufl. des Lehrbuchs der Kriegschirurgie. Leipzig 1920, **II. Bd.**, 345—427.
5. Bardeleben, Über die kriegschirurgische Bedeutung der neuen Geschosse. In: Veröffentlichung aus dem Gebiete des Militärsanitätswesens. 1892. H. 2.
6. Bastos, M. u. J. d'Harcourt, Brustschüsse. Ein klinischer Beitrag. Arch. Klin. Chir. **184** (1936), 665—680.
7. v. Beck, Schießversuche gegen Pferdekadaver. Allg. Mil. Ztg. (1885), 469.
8. v. Beck, Über die Wirkung moderner Gewehrprojektile, insbesondere der Lorenz'schen verschmolzenen Panzergeschosse auf den tierischen Körper. Lpz. 1885.
9. Belehrungsschießen für Sanitätsoffiziere in Spandau-Ruhleben. Dtsch. mil. ärztl. Zschr. (1892), H. 5.
10. Berg, Die Durchschlagskraft der Pistolengeschosse im lebenden Körper. Dtsch. Zschr. für gerichtl. Med. **5** (1926), 553.
11. Beyer, H. G., Oberservations on the effects produced by the 6 mm rifle and projektile. An experiment. study. Journ. Bost. Soc. Med. Sc. (1898—1899) III, 117—136.
12. Bier, A. Über Kriegsaneurysmen. D. m. W. **41** (1915), 121—124.
13. Binaud, Des blessures de l'oreille par armes á feu. Arch. gén. de méd. (1893).
14. Bircher, E., Die Anlage der Verbandplätze und ihre Aufgabe bei der Wirkung der heutigen Handfeuerwaffen. Vortrg. v. 30. 7. 1893. Schweiz. Mtschr. f. Offiziere aller Waffen.
15. Bircher, E., Die Bedeutung der Schußwunden in Kriegschirurgischer und taktischer Beziehung. Frauenfeld 1908.
16. Bircher, E., Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung der Spitzgeschosse. Beitr. klin. Chir. **96** (1915), 38—98.
17. Bircher, E., Die Wirkung der Artilleriegeschosse, Aarau 1899.
18. Bircher, E., Handbuch der Kriegsheilkunde für die schweizerischen Sanitätsoffiziere. Basel 1888.
19. Blau, Über Röntgendurchleuchtung von Geschossen. Dtsch. mil. ärztl. Zschr. (1917), 59.
20. Bleibtreu, Verlust-Prozente. Mil. Wochenbl. 1893.
21. Bodynski, Über Temperaturerhöhung abgefeuerter bleiener Geschosse. Poggendorffs Annalen **145**.
22. Bogdanik, Die Geschoßwirkung des Mannlicher-Gewehres. (Modell 1888.) Wien. Klin. (1890), 309—336.
23. Bohosiewicz, Zur Kenntnis der Schußverletzungen durch das österr. 8-mm-Mannlicher-Gewehr. Wien. med. Presse 1892.
24. v. Bonin, G., Aneurysmen durch Schußverletzungen und ihre Behandlung. Zschr. Klin. Chir. **97** (1915), 146—176.

25. Bonnette, Déformations et fragmentations des balles de guerre dans les tirs de combat collectifs. Influence du terrain sur les déformations. Arch. de Médicine et de Pharmacie militaire, **47** (1906), 397.
26. Borchard, A. u. D. Gebhardt, Brust. In: Borchard, A. u. V. Schmieden, Die Deutsche Chirurgie im Weltkrieg 1914—18, 2. Aufl. des Lehrbuchs der Kriegschirurgie, Lpz. 1920, II. Bd., 574 bis 632.
27. Borchard, A. u. V. Schmieden, Die deutsche Chirurgie im Weltkriege 1914—18, zugleich 2. Aufl. des Lehrbuches der Kriegschirurgie. 2 Bde., Berlin 1920.
28. Borchard, A. u. V. Schmieden, Lehrbuch der Kriegschirurgie. 1. Aufl. Lpz. 1917, 3. Aufl. Lpz. 1937.
29. Borchard, A., Brustschüsse. Beitr. Klin. Chir. **96** (1915), 499—507.
30. Bornberger, Über die Schußverletzungen der großen Röhrenknochen. Dtsch. mil. ärztl. Zschr. (1878), 434.
31. Bornhaupt, Über den Mechanismus der Schußfrakturen der großen Röhrenknochen. Arch. Klin. Chir. (1880), XXV, 617—630.
32. Borst, Einwirkung der Schußwunden. In: Borchard-Schmieden, Lehrbuch der Kriegschirurgie, Lpz. 1917.
33. Bovet, Einiges über die Wirkung kleinkalibriger Handfeuerwaffen, insbesondere des Hebler-Gewehres Modell 1887. Corr.-Bl. f. Schweiz. Ärzte, (1887), Nr. 24.
34. Bowlby, The bradshaw lecture on wounds in war. Brit. Journ. Surg. (1915—16), III, 451—474.
Brit. Med. Journ. (1915), II, 913—921.
Lancet (1915), II, 1385—98.
Journ. Roy. Army med. Corps (1916), XXVI, 125—52.
35. v. Bramann, Über die Behandlung der Schußverletzungen des Abdomens. Verhdlg. XXII. Congr. Dtsch. Ges. Chir. 1893. Berlin.
36. Brandes, M., Schüsse des Schädeldaches mit isolierter indirekter Basisfraktur. Beitr. Klin. Chir. **107** (1917), 514—521.
37. Brandes, M., Über Basisverletzungen bei Tangential-, Rinnen-, Segmental- und Steckschüssen des Schädels. M. m. W. (1916), 843—876.
38. Brown, Report of five surgical cases following gunshot injuries. Med. News (1891), 59.
39. Brüning, F., Die Kampfmittel im Weltkrieg und ihre Wirkung auf den Körper. In: Nr. 144 ds. Verz., II, 1—26.
40. v. Bruns, Die Dumdumgeschosse und ihre Wirkung. Beitr. Klin. Chir. **96** (1915), 7—24.
41. v. Bruns, P., Die Geschoßwirkung der neuen Kleinkalibergewehre. Tübingen 1889.
42. v. Bruns, P., Die Schußwunden der neuen Kleinkalibergeschosse. Beitr. Klin. Chir. **19** (1897).
43. v. Bruns, P., Die Wirkung der Bleispitzgeschosse. Beitr. Klin. Chir. **21** (1899).
44. v. Bruns, P., Über die kriegschirurgische Bedeutung der neuen Handfeuerwaffen. Verhdg. Dtsch. Ges. Chir. XXI. Congr. 1892. In: Arch. Klin. Chir. **44** (1892).
45. v. Bruns, P., Über die Wirkung der Hohlspitzgeschosse. Beitr. Klin. Chir. **23** (1901).
46. v. Bruns, P., Über die Wirkung der Selbstladepistole. (Mauser). Beitr. Klin. Chir. **19** (1897).
47. v. Bruns, P., Über Schußwaffen und Schußwunden im gegenwärtigen Kriege. Beitr. Klin. Chir. **96** (1915), 1—6.
48. Bureau, Erste feldärztliche Hilfe bei Kieferschüssen mit besonderer Berücksichtigung der Bluttransfusion. Diss. Kiel 1933.
49. Burckhardt, Besprechung von: Borchard, Brustschüsse, und Sauerbruch, F., Brustschüsse. Beitr. Klin. Chir. **96** (1915), 507 bis 508.

50. Burckhardt, H. und F. Landois, Die pathologische Anatomie und Behandlung der Bauchschüsse, Bruns Beiträge **103** (1916), 60—200.
51. Burkhardt, H. und F. Landois, Die Tangentialschüsse des knöchernen Thorax und die durch sie erzeugten Veränderungen innerer Organe. M. m. W. (1915), 1057—1061.
52. Busch, W., Fortsetzung der Mitteilungen über Schußversuche. Arch. Klin. Chir. XVIII (1875), 155—189.
53. Busch, W., Zweite Fortsetzung der Mitteilungen über Schußversuche. Arch. Klin. Chir. XVIII (1875), 201—227.
54. Busch, W., Über die Schußfrakturen, welche das Chassepot-Gewehr bei Schüssen aus großer Nähe hervorbringt. Arch. Klin. Chir. XVI (1874), 22—35.
55. Callender, G. R. und R. W. French, Wound ballistics. Studies in the mechanism of wound productions by rifle bullets. Mil. Surgeon **77** (1935), 177—201.
56. Calvert, On the measurement of Water current. Inst. Nav. Architects 1893.
57. Cammerer, Generalbericht über die Tätigkeit der nach Rumänien beurlaubt gewesenen preuß. Militärärzte. Dtsch. mil. ärztl. Zschr. (1878).
58. Cannon, W. B., The course of events in secondury wound shok. Journ. Arm. Med. Ass. 1919, LXXII, 174—81.
59. Carl, W., Über Bauchschüsse. D. m. W. (1915), 97—102.
60. Chauvel, Action des projectiles de petit calibre dans le corps humain. Gaz. des hôp. Paris (1893).
61. Chauvel, Quelques expériences sur les effects des balles de petit calibre á enveloppe d'acier. Bull. et mém. d. C. soc. de chir. de Paris. XIII (1887), 83.
62. Chauvel, Recherches expérimentales sur les effects des armes nouvelles et des projectiles de petit calibre á enveloppe résistante. Bull. de l. soc. de chir. de Paris, 1888.
63. Chauvel, et Ninier, Traité practique de chirurgie d'armée. Paris 1890.
64. Chauvel, Ninier, Breton et Pesne, Recherches expérimentales sur les effets des armes nouvelles et des balles de petit calibre á enveloppe persistante. Arch. gén. de méd. (1888), 385.
65. Cles und Swoboda, Sitzungsberichte der Wiener Akademie, mathem.-naturw. Klasse (1914).
66. Coler und v. Schjerning, Über die Wirkung und kriegschirurgische Bedeutung der neuen Handfeuerwaffen. Vorträge aus den Sektionen für Chirurgie und Militärsanitätswesen beim internationalen med. Kongreß in Rom 1894. — Bearbeitet von der Medizinal-Abteilung des Kgl.-Preuß. Kriegsministeriums. Berlin (Hirschwald), 1894.
67. Coley, The treatement of penetrating gunshot wounds of the abdomen. Amer. Journ. (1891), 243.
68. Cranz, Bewegungserscheinungen beim Schuß. Jahrb.. d. Schußbautechnischen Gesellschaft 1911.
69. Cranz, Lehrbuch der Ballistik. 2. Aufl. 1917.
70. Cranz und Koch, Über die explosionsartige Wirkung moderner Infanteriegewehre. Ann. d.. Phys. 4.. Folge, **Bd. 3.**
71. Crespie, Tazon, Salle ferite d'arma da fuoco in relazione alla medicina legale. Riv. clin. di Bologna 1875. Magg.
72. Daake, Die Kriterien des Nahschusses. Inaug. Diss., Berlin 1892.
73. Davies, J. W., Gunshot wounds af the liver. Mil. Surgeon **77** (1935), 239—252.
74. Decaux, Coup de feu de l'abdomen sans lésions intestinales. Arch. de méd. et de pharm. mil. (1894).
75. Delorme, Des fractures par coup de feu des os par les balles actuelles. Arch. de méd. et de pharm. mil. (1885), V, 497.

76. Delorme, Des modifications imprimées á l'armement de l'infanterie et de la médecine militaire. Rev. mi. de méd. et de chir. (1892), 1.
77. Delorme, Des types de fractures des diaphyses par les balles actuelles. Rev. mil. de méd. et de chir.. 1881.
78. Delorme et Chavasse, Etude comparative des effects produits par les balles du fusil Gras de 11 mm et du fusil lebel de 8 mm. Arch. de méd. et de pharm. mil. (1891), XVII.
79. Delorme, Note sur lésions produits par les balles du fusil Lebel. Arch. de Méd. et de pharm. mil. (1888), XII.
80. Delorme, Traité de chirurgie de guerre. Paris (1893), 188.
81. Demme, Allgemeine Chirurgie der Schußwunden. Würzburg 1863.
82. Demmler, Considérations sur la chirurgie d'armée. Gaz. des hôp. Paris 1893.
83. Démosthen, Etudes expérimentales sur l'action du projectile cuirassé Mannlicher-roumain de 6 mm. Bucarest 1894.
84. D'Harcourt, J. und M. D'Harcourt, Über penetrierende Wunden der Brust. Act. Soc. Cir. Madrid, **4** (1935). 195—221 (Spanisch).
85. Dickinson, The propriety of operative interference in gunshot wounds of the abdomen. New York Rec. (1890), 345.
86. Die Durchschlagskraft Kleinkalibriger Geschosse. Mil. Wochbl. (1890).
87. Eichel, Über Schußverletzungen mit dem deutschen Armeerevolver 83. Arch. Klin. Chir. **52** (1896).
88. Eidlin, L., Die röntgenologische Feststellung des Metallringes an der Einschußöffnung. Vestn. Röntgenol. **12** (1933), 451—66 (Russisch).
89. Ellenberger und Baum, Ein Beitrag zur Wirkung des 8-mm-Geschosses. Arch. wiss. u. prakt. Tierheilkunde (1893), XIX, 277.
90. Enderlen, E. und E. v. Redwitz, Die Schußverletzungen des Magen-Darmkanals. In: Borchard, A. u. V. Schmieden, Die Deutsche Chirurgie im Weltkrieg 1914—18, 2. Aufl. des Lehrbuchs der Kriegschirurgie, Lpz. 1920, II. Bd., 3—69.
91. Enderlen, Über Schußverletzungen des Darmes. M. m. W. 1914.
92. Die Endscheidungskämpfe im chilenischen Bürgerkrieg. Wien 1892.
93. Eskridge, Schußwunde des rechten Cuneus. Med. news. (1891).
94. Ewich, Untersuchungen über den Unterschied der Chassepot- und Zündnadel-Verwundungen. Dtsch. Klin. 1870.
95. Ewing, The wounded of the knee battefield, with remarks on wounds produced by large and small calibre bullets. Bost. Journ. (1892), 463.
96. Examples of wounds inflicted by the new magazine rifle (Lee-Metford). The Brit. med. Journ. (1893), II, 757.
97. Exner, K., Die Granatcontusion. In: Kriegschirurgie in den Balkan-Kriegen. 1912—13, red. v. A. Exner, Neue Dtsch. Chirurgie, **14**, Stuttgart (1915).
98. Exner, K., Kriegschirurgie in den Balkankriegen 1912—13, red. v. A. Exner, Neue Dtsch. Chirurgie, **14**, Stuttgart 1915.
99. O'Farrel, Case of gunshot wound (suicidal). Brit. med. Journ. 1890, Vol. I, 721.
100. Faschingbauer und Böhler, Über indirekte Schußfrakturen der Schädelbasis. D. m. W. (1917), 482—484.
101. Felix, Observation de plaie pénétrante du genou droit par coup de feu. Arch. de méd. et de pharm. mil. (1893), XXI, 494.
102. Fessler, Die Wirkung des deutschen 8-mm-Spitzgeschosses (S-Munition) an Menschen und Tieren. D. Zschr. Chir. 97 (1909).
103. Fessler, Eine neue Zusammensetzung des englischen Infanteriegeschosses. M. m. W. (1918).
104. Fessler, Über Querschlägerverletzungen, Geschoßwirkung des deutschen und französischen Spitzgeschosses. M. m. W., Bd. II (1914), 2288—2290.
105. Fessler, Über Schußverletzungen. Chir. Kongr. Verh. 1908.

106. Fessler, Wirkung des deutschen Spitzgeschosses. München, 1909.
107. Fischer, A., Zur Explosivwirkung des Mantelgeschosses. D. m. W. (1915), 337.
108. Fischer, Handbuch der Kriegschirurgie. Stuttgart 1882, 2. Aufl.
109. Fischer, Kriegschirurgische Erfahrungen. Erlangen 1872.
110. Fischer, Lehrbuch der allgemeinen Kriegschirurgie. Erlangen 1868.
111. Flesch, Untersuchungen zur Dynamik der Steckschüsse. Jena 1917.
112. Franz, C., Lehrbuch der Kriegschirurgie. Berlin 1936, 2. Aufl.
113. Franz, C., Die Schußfrakturen. M. m. W. 1934, II, 174—180.
114. Franz, C., Ist die Lehre der hydrodynamischen Druckwirkung für die Erklärung der Geschoßwirkungen im Gehirn wirklich überholt? Dtsch. Militärarzt. **2** (1937), 145—149.
115. Franz, C., Schußverletzungen. Chir. Kongr. Verh. 1908.
116. Franz, C., Zur Dynamik der Geschosse. Beitr. Klin. Chir. **116** (1919), 426—446.
117. Franz, C., Zur Erklärung der Krönlein'schen Schädelschüsse. Chir. Kongr. 1910.
118. Freudenberg, W., Wirkung moderner Geschosse, besonders bei Schädeltraumen. Zahnärztl. Rundsch. **24**, 18—24.
119. Freund, Über Schußkanäle. Fortschr. Röntgenstrahlen 23.
120. Fritz, E., Randabsprengungen an der Einschußseite des Schädelknochens bei Nahschüssen aus mehrschüssigen Faustfeuerwaffen. Dtsch. Z. gerichtl. Med. **20** (1933), 558—607.
121. Garsche, R., Die Stanzmarke, ein Zeichen des absoluten Nahschusses. Arch. Kriminol. **97** (1935), 120—153.
122. Gaupp, R., Die Granatkontusion. Beitr. Klin. Chir. **96** (1915), 277—294.
123. Gebele, Über Schußverletzungen des Gehirns. Beitr. Klin Chir. **97** (1915), 123—145.
124. Die Gefahrenzone des mordernen Infanteriefeuers. Mil. polit. Blätter (1893), Nr. 73.
125. Geleke, N., Hals. In: Borchard, A. und v. Schmieden, Die deutsche Chirurgie im Weltkrieg 1914—18, 2. Aufl. des Lehrbuchs der Kriegschirurgie, Lpz. 1920, II. Bd., 536—573.
126. Genewein, Pathologisch-anatomische Studien über Kriegsverletzungen des Schädels. Beitr. Klin. Chir. **109** (1918), 1—70.
127. Gerstäcker, Über den Tod durch Gewehrschußwunden in gerichtsärztlicher Beziehung. Ztschr. Heilk., Prag (1887), 8.
128. Goldammer, Kriegschirurgische Erfahrungen aus den griechisch-türkischen und griechisch-bulgarischen Kriegen 1912—13. Beitr. Klin. Chir. **91** (1913), H. 1 u. 2.
129. Gori, De uitwerking der morderne geveer-projectilen. 1885.
130. Gori, Eene bladzigde mit de moderne oorlos-chirurgie. Amsterdam 1885.
131. Graf und Hildebrandt, Die Verwundungen durch die modernen Kriegsfeuerwaffen. Bibl. v. Coler u. v. Schjerning, Bd. II, 1907.
132. Guareschi, G., Experimenteller Beitrag zu der vermeintlichen Schraubwirkung von Geschossen in Geweben. Dtsch. Zschr. ger. Med. **22** (1933), 322—327.
133. Gys, Plaies de poitrine produits par la balle du fusil Mauser modifié. Arch. méd. belges (1893).
134. Habart, Die Geschoßfrage der Gegenwart und ihre Wechselbeziehungen zur Kriegschirurgie.
135. Habart, Die Geschoßwirkung der 8-mm-Handfeuerwaffen an Menschen und Pferden, Wien 1892.
136. Habart, Die Kleinkaliber und die Behandlung der Schußwunden im Felde, Wien 1894.
137. Habart, Die Rückwirkungen des weittragenden Kleingewehres auf den Sanitätsdienst im Felde. Der Mil.-Arzt 1892.
138. Habart, Über die dynamische Wirkung des 8-mm-Gewehrgeschosses

an Blutgefäßen und Knochen lebender Ziele. Wien. med. Presse (1893).
139. Habart, Zur Frage moderner Kleinkaliberprojectile. Wien. Med. Presse (1889), 988.
140. Haenisch, Röntgenologischer Nachtrag der Dumdumwirkung englischer Infanteriegeschosse. M. m. W. (1914), 2450—2451.
141. Haenisch, G. F., Über Bleivergiftung bei Steckschuß. Fortschr. Röntgenstr. **53** (1936), 484.
142. Hagemann, Über Mechanik der Schußverletzungen. Diss. Marburg 1863.
143. Hagenbach, Über die Schmelzung bleiener Geschosse durch Aufschlagen auf eine Eisenplatte. Poggendorf. Ann. 140.
144. Handbuch der ärztlichen Erfahrungen im Weltkriege 1914—18. Hrsg. v. O. v. Schjerning. Berlin 1922, Bd. I u. II, Chirurgie, hrsg. v. E. Payr und C. Franz, 2 Tle.
145. v. Hansemann, Eitrige Meningitis nach Kopfverletzungen. Berl. klin. Wschr. (1917), 741—743.
146. Hebler, Das kleinste Kaliber oder das zukünftige Infanteriegewehr. Zürich u. Lpz., I—III, 1886—91.
147. Hebler, Über die Durchschlagskraft der Geschosse. Allg. Schweiz. Mil. Ztg. 1890.
148. Heine, Vergleichende Bemerkungen über die im Felde zur Verwendung gekommenen Geschoßarten und ihre Wirkungsweise. Arch. Klin. Chir. **7**.
149. Heinecke, H., Verletzungen der Wirbelsäule und des Rückenmarks. In: Borchard, A. u. v. Schmieden, Die deutsche Chirurgie im Weltkrieg 1914—18. 2. Aufl. des Lehrbuchs der Kriegschirurgie, Lpz. 1920, II. Bd., 633—656.
150. Hellwig, Experimenteller Beitrag zu den Schußverletzungen im Frieden. Dtsch. mil. ärztl. Zschr. (1882).
151. Heppner und Garfinkel, Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung der modernen Kleinkaliberprojektile. Centrbl. Chir. (1874) I.
152. Heyd, Hermann, Über das Verhalten der Nahschußzeichen und der Streuung der Schrotkörner bei Schrotflintenschüssen. Diss. München 1934.
153. Hiclet, Effects comparées des projectiles de l'ancien et de nouveau fusil de guerre. Arch. Méd. belges, XLII (1892), 84.
154. Hildebrandt, Die Verwundungen durch die mordernen Kriegsfeuerwaffen. Bibl. v. Coler und Schjerning, **21** (1905).
155. Hildebrandt, Zur Erklärung der Bewegungsvorgänge bei Explosions-Schüssen. Arch. Klin. Chir. **72** (1904), 1050.
156. Hildebrandt, Zur Erklärung der Explosionsschüsse. M. m. W. 1903.
157. von der Hofen, Über die Wirkung der Geschosse der neuen Handfeuerwaffen. Wejenno sanit. Djela (1888), 421. 433.
158. Hohlbeck, v., Die Schußverletzungen des Schädels im Krieg. Beobachtungen und Erfahrungen während des russisch-japanischen Krieges 1904—05. Med. Abt. Kgl. Preuß. Kriegsmin., Bln. 1912.
159. Horsley, The destructive effects of projectils. Proc. Roy. Inst. Great. Britain. (1894), XIV, 228—238.
160. Kastner, Das italienische 6,5-mm-Gewehr. Prometheus 1892.
161. Kern, Kriegschirurgie des Sehorgans. Dtsch. mil. ärztl. Zschr. (1890).
162. Kikuzi, Untersuchungen über die physikalische Wirkung der Kleinprojektile. Tübingen 1890.
163. Kipper, F., Gerichtsärztliche Erfahrungen und experimentelle Untersuchungen über Schußwirkungen. Dtsch. Zschr. ges. gerichtl. Med. **7** (1927), 60.
164. Kipper, F., Neue Ergebnisse bei mit Nitromunition aufgestellten Schießversuchen. Dtsch. Zschr. ges. gerichtl. Med. **5** (1926), 193.
165. Kisker, A comparasion of the cylindro-conoindal and round bullet wounds. Transact. of the int. med. congr. 1881, Vol. II, 578.

166. Kisker, On the nature of the rifle-bullet wounds. Brit. med. Journ. (1882), II, 462.
167. Kirschner, M., Bemerkungen über die Wirkung der regelrechten Infanteriegeschosse und der Dumdumgeschosse auf den menschlichen Körper. M. m. W. (1914), 2445—48.
168. Klebs, Beiträge zur pathologischen Anatomie der Schußwunden. Lpz. 1872.
169. Klemm, Zur Frage der Schußverletzung des Magen-Darm-Tractus. Dtsch. Zschr. Chir. (1892), **33**, 293.
170. Klinker, W., Blasenschüsse, Diss., Kiel 1935.
171. Knoll, W., Gewehrnahschüsse mit Grenzwirkung am Geschoß. Beitr. Klin. Chir. **113** (1918), 696—722.
172. Kocher, Über die Verbesserung der Geschosse vom Standpunkt der Humanität. Der Mil.-Arzt, **28** (1894).
173. Kocher, Neue Beiträge zur Kenntnis der Wirkungsweise der modernen Kleingewehr-Geschosse. Corr. Bl. Schweiz. Ärzte (1879), 104—138.
174. Kocher, Über die Sprengwirkung der modernen Kleingewehr-Geschosse. Corr. Bl. Schweiz. Ärzte, **5** (1875), 3, 29, 69.
175. Kocher, Über Schußwunden. Experimentelle Untersuchungen über die Wirkungsweise der modernen Kleingewehr-Geschosse. Lpz. 1880.
176. Kocher, Zur Lehre von den Schußwunden der Kleinkalibergeschosse. Kassel 1895.
177. Köhler, A., Die modernen Kriegswaffen, Berlin 1900.
178. Köhler, A., Grundriß einer Geschichte der Kriegschirurgie. 1901.
179. Köhler, A., Historische Untersuchungen über das Einheilen und Wandern von Gewehrkugeln. Veröfftlgg. Mil. Sanitäts Ges. H. 1, 1892.
180. König, F. und R. Hagemann, Untere Extremität. In: Borchard, A. und v. Schmieden, Die deutsche Chirurgie im Weltkriege 1914 bis 1918. 2. Aufl. des Lehrbuchs der Kriegschirurgie. Leipzig 1920, II. Bd., 850—919.
181. Koerte, Die kriegschirurgische Bedeutung der Behandlung der Bauchschüsse. Berl. Klin. Wschr. (1890), 72.
182. Kolb, Explosive Wirkung der deutschen Infanteriegeschosse. Berl. Klin. Wschr.
183. Kranzfelder und Oertel, Zur kriegschirurgischen Bedeutung der neuen Infanterie-Munition. D. m. W. (1906), 489.
184. Kranzfelder und Schwinning, Die Funkenphotographie, bes. die Mehrfachfunkenphotographie und ihre Verwendbarkeit zur Darstellung der Geschoßwirkung im menschl. Körper. Med. Abt. Kgl. Preuß. Kriegsm., mit 1 Atlas. Berlin 1903.
185. Kriegssanitätsbericht über die deutsche Marine 1914—18. Hrsgg. v. d Med. Abt. d. Marineleitung im Reichswehrministerium. Bd. 2. Statistik über die Erkrankungen, Verwundungen durch Kriegswaffen, Unfälle und ihre Ausgänge im Kriege 1914—18. Berlin 1934.
186. Krönlein, Über die Wirkung der Schädelschüsse aus unmittelbarer Nähe mittels des Schweizer Repetiergewehres. Beitr. klin. Chir. **29** (1900).
187. Küster, E., Geschichte der neuen deutschen Chirurgie. Neue Dtsch. Chir. hrg. v. P. v. Bruns, Bd. **15**, Stuttgart 1915.
188. Küttner, H., Die Kriegsverletzungen der Genitalien. In: Borchard, A. und v. Schmieden, Die deutsche Chirurgie im Weltkrieg 1914—18. 2. Aufl. des Lehrbuchs der Kriegschirurgie. Lpz. 1920, II. Bd., 725 bis 745.
189. Küttner, K., Kriegschirurgische Erfahrungen im südafrikanischen Kriege. Beitr. Klin. Chir. **28** (1900).
190. Kuhn, Konstruktion und Wirkung des englischen Infanteriegeschosses. D. m. W. (1915), 1264.

191. Kutter, Die Entwicklung der Kriegschirurgie in den letzten Dezennien. 1909.
192. Lacronique, Des fractures dites indirectes des os longs par petits projectiles de guerre. Arch. de méd. et de pharm. mil. 1886, VIII.
193. Lagarde, Can a septic bullet infect a gunshot wound? New York med. journ. (1892).
194. Lagarde, L. A., Gunshot injuries. How they are inflicted, their complications and treatment. New York 1914, 1—459.
195. Lagarde, L. A., Gunshot injuries. 2. Bd. New York 1916.
196. Langenbeck, Über die Schußverletzungen des Hüftgelenks. Arch. Klin. Chir. (1874), XVI.
197. Langenkämper, W., Über Unterkieferschußfrakturen und ihre Behandlung. Diss. Kiel 1934.
198. Lardy, Explosivgeschoßähnliche Wirkung der deutschen Infanterie-S-Munition bei Nahschüssen. Schweiz. Korr. Bl. (1914).
199. Legowest, Traité de chirurgie d'armée. Paris 1872.
200. Levy, W., Die Umdrehung der modernen Spitzgeschosse im Wundkanal um ihre quere Achse. Berl. Klin. Wschr. (1915).
201. Liebert, Über Sprengwirkung bei Kleinkalibergeschossen. Beitr. Klin. Chir. **96** (1915), 99—115.
202. Loeffler, Generalbericht über den Gesundheitsdienst im Feldzuge gegen Dänemark 1864. Berlin 1867.
203. Lobenhoffer, Über stumpfe Darmverletzungen. M. m. W. **61**, II (1914), 1917—1920.
204. Longmore, Gunshot injuries, their history, characteristic features, complications and general treatment. London 1877.
205. Longmore, The new military weapons and explosives. The Brit. Med. Journ. (1892), I, 521.
206. Lorenz, H., Ballistik. Die mechanischen und thermischen Grundlagen der Lehre vom Schuß. München und Berlin 1935.
207. Lücke, Kriegschirurgische Aphorismen. Berlin 1865.
208. Mach, E., Über Erscheinungen fliegender Projektile. Lpz. 1903.
209. Mache, Über Bewegung des Geschosses im Rohr während der Verbrennung des Pulvers. Mitt. d. Gegenstände d. Artillerie- und Geniewesens. Wien (1916).
210. Majewski, Neue Untersuchungen über die Einwirkung der Rikoschettschüsse auf tote Ziele. Wien. Med. Presse (1899).
211. Makins, G. H., Gunshot injuries of the blood vessels. London 1915, 1—251.
212. Masima, M. und S. Sasaki, Effets des Balles de Fusil sur les Matieres Plastiques. In: Memorial de l'Artilleries Francaise. Vol. 11. Paris 1932, 563 ff.
213. Marwedel, G., Das steckengebliebene Geschoß. In: Borchard, A. und v. Schmieden, Die Deutsche Chirurgie im Weltkriege 1914—18, zugleich 2. Aufl. des Lehrbuches der Kriegschirurgie, 2 Bde. Berlin 1920, 123—138.
214. Marx, Konstruktion und Wirkung des englischen Infanteriegeschosses. D. m. W. (1915), 890.
215. Maubrac, Des plaies de la veine fémorale par armes á feu. Arch. de méd. et de pharm. mil. (1888), XII, 366—439.
216. Maydl, Über den Fortschritt in der Entwicklung moderner Handfeuerwaffen. Allg. Wien. med. Zschr. (1888).
217. The Medical and Surgical History of the War of the Rebellion. Med. II, Part III, Surgical History. Washington 1883, p. 685 ff.
218. Meixner, Vom Verkorkungsraum an Ausschußwunden. Dtsch. Zschr. gerichtl. Med. **21**, 184—185.
219. Meilly, Schußverletzung. Dtsch. mil. ärztl. Zschr. (1890).
220. Melchior, E., Harnorgane. In: Borchard, A. und v. Schmieden, Die deutsche Chirurgie im Weltkrieg 1914—18, 2. Aufl. des Lehrbuches der Kriegschirurgie. Lpz. 1920, II. Bd., 746—769.
221. Melchior, E. und M. Wilimowski, Über Röntgendarstellung

von Schußkanälen, kriegschirurgischen Fistelgängen und Abszeßhöhlen vermittels Jodopin. Beitr. Klin. Chir. **103** (1916), 334—353.
222. Melsens, Note sur les plaies des armes á feu. Com. rend. de l'Acad. de science. (1872), I, 74.
223. Mendilaharzu, J. R., Beitrag zum Studium der Knochenläsionen durch Kleinkalibergeschosse. Archives med. leg. **3** (1933), 13—22.
224. Messerer, D., Experimentelle Untersuchungen über Schädelschüsse. München 1884.
225. Messner, Wird das Geschoß durch die im Gewehrlauf stattfindende Erhitzung sterilisiert? M. m. W. (1892).
226. v. Meyer und F. Kraemer, Ein Beitrag zu: Inf.-Geschosse mit Sprengwirkung. M. m. W. (1914).
227. Meynier, Contributation á l'étude des effects des pouveaux projectiles de petit calibre. Bull. de Soc. de chir. (1888).
228. Mohr, Schußverletzungen durch kleinkalibrige Gewehre, spez. nach den Erfahrungen der letzten Feldzüge. Arch. Klin. Chir. **63** (1902), 116.
229. De Moléнes, Plaie pénétrante de pousnon par arme á feu de petit calibre. Gaz. des hôp. Paris (1899), 906.
230. De Monbrison, Les armes de petit calibres. Paris 1893.
231. Morosow, Der gegenwärtige Stand der Frage über die Schmelzung der Projectile in den Schußwunden. Verhdgg. z. I. Kongr. russ. Ärzte in St. Petersburg (1886).
232. Morosow, Über die zerstörende Wirkung der modernen Projectile. Vortr. a. d. 3. russ. Chir. Kongr., Ref. Z. Bl. Chir. (1889), 427.
233. Morosow, Nochmals über die zerstörende Wirkung der modernen Projectile. Tagebl. 4. Kongr. russ. Ärzte. Moskau (1891).
234. v. Mosetig-Morohof, Vorlesungen über Kriegschirurgie. Wien und Lpz. 1887.
235. Neudörfer, Handbuch der Kriegschirurgie und der Operationslehre. Leipzig 1872.
236. Nimier, La service de santé pendant la guerre civile du Chili. Arch. de méd. et de pharm. mil. (1893), XXI.
237. Nimier, Des lésions produits par les balles de petit calibre á enveloppe résistante. Arch. de méd. et de pharm. mil. (1890), IV.
238. Nimier, Deux blessures mortelles par coup de feu (nouveau fusil á magazin). Arch. de méd. et de pharm. mil. (1894), 234 ff.
239. Nimier, Effects des projectiles de petit calibre sur le crâne. Rev. de soc. savant. Paris 1888.
240. Nimier, Les projectiles de l'ancien et du nouveau fusil d'infanterie aux Etat. Unis. Arch. de méd. et de pharm. mil. (1894), 326.
241. Nimier, Quelques remarques sur l'action des projectiles des fusils de querre Arch. de méd. et de pharm. mil. (1893), XXII.
242. Nöcker, J., Die Durchschlagskraft der Pistolengeschosse am lebend Getroffenen. Diss. Münster und Düsseldorf 1934.
243. Oehler, J., Über die Tangentialschüsse des Schädels und ihre Behandlung. M. m. W. **61**, II (1914), 2287—2288.
244. v. Oettingen, Leitfaden der praktischen Kriegschirurgie. Dresden, Leipzig 1912.
245. Oltzow, K., Nahschußspuren und neue Nachweismethoden. Diss. Frankfurt 1934.
246. Otis, The medical and surgical history of the war of the rebellion (1861—65). Part. I, vol. II, Part. II, vol. 2, Part. III. Washington 1870—1883.
247. Pascha-Wieting, Steil abfallende Kleinkalibergeschosse und ihre Wirkung. Dtsch. Mil. ärztl. Zschr. **38** (1909), 617—628.
248. Payr, E., Der frische Schädelschuß. In: Hdb. ärztl. Erfg. II, 1, 285 bis 410.
249. Payr, E., Erfahrungen über Schädelschüsse. Jb. ärztl. Fortb., 1915.
250. Pelz, Tangentiale Schädelschüsse. Dtsch. m. W. (1915), 842.

251. Penner, Kriegschirurgie. Veröfftl. Heeresan.-Wesen, H. 100 (1936), 12—24.
252. Perco, Sulla atzione del projectile Vetterly a bive distanza Giom. med. d. r. eserc. e. d. r. mar. (1889), 852.
253. Perry, M., The effect of modern rifle fire. The Lancet (1892), II, 1466.
254. Perthes, G., Die Verletzungen der peripheren Nerven. In: Borchard, A. und v. Schmieden: Die deutsche Chirurgie im Weltkriege 1914 bis 1918, zugleich 2. Aufl. d. Lehrbuches der Kriegschirurgie. 2 Bde. Berlin 1920, 259—284.
255. Perthes, G., Über die Wirkung der regelrechten Infanteriegeschosse und die der Dumdumgeschosse auf den menschl. Körper. M. m. W., 1915, 210—211.
256. Pethellaz, Notice sur l'action des projectiles du fusil de guerre (nouveau modèle de Suisse). Arch. de méd. nov. (1894), 109.
257. Pfuhl, Über die Infektion der Schußwunden durch mitgerissene Kleiderfetzen. Zschr. Hrgg. 13.
258. Pirogoff, Das Kriegssanitätswesen und die Privathilfe auf dem Kriegsschauplatz in Bulgarien. Übs. v. Roth u. Schmidt, 1882.
259. Pirogoff, Grundzüge der allgemeinen Kriegschirurgie. Leipzig 1864.
260. Polanski, W. M., Die Schußverletzungen des Thorax besonders durch das kleinkalibrige Geschoß. Diss. München 1894.
261. Prinz, Kriegssanitäre Vorgänge in dem letzten chilenischen Bürgerkriege. Dtsch. mil. ärztl. Zschr. (1892).
262. Ramsauer, Der Ricochettschuß. Diss. Kiel 1903.
263. Ratheke, W., Wirbelsäulen- und Rückenmarkschüsse. Diss. Kiel 1934.
264. Rattagi, Le ferite del cervello dell' norno. Ann. univers. d. med. chir. 1888.
265. Reclus et Mognès, Traitement des perforations traumatiques de l'estomac et de l'intestin. Rev. de chir., 1890.
266. Reger, Demonstration von Ergebnissen neuerer Schießversuche. Verhdlg. 59. Nat. forsch. Vers., Dtsch. mil. ärztl. Zschr. (1886).
267. Reger, Die Anforderungen der Humanität an die Kleingewehrprojektile. Dtsch. mil. ärztl. Zschr., 1884.
268. Reger, E., Die Gewehrschußwunden der Neuzeit. Straßburg 1884.
269. Reger, E., Die Krönleinschen Schädelschüsse. Arch. klin. Chir. 64 (1901).
270. Reger, Mitteilung über photographische Aufnahmen von Gewehrgeschossen im Fluge. Berl. med. Ges. 21. November 1887, Dtsch. mil. ärztl. Zschr., 1888.
271. Reger, Neue Beobachtungen über Gewehrschußwunden. Dtsch. mil. ärztl. Zschr. (1887).
272. Reger, Über die kriegschirurgische Bedeutung der neuen Feuerwaffen. Arch. klin. Chir. (1892), 44.
273. Reger, Über die Wirkungsweise moderner Geschosse. Vortr. IV. int. Kg. d. Verh. d. rot. Kreuz., Karlsruhe 1887.
274. Reuter, M., Hydrodynamische Wirkung der Infanteriegeschosse. D. m. W. (1915), 1398.
275. Reuter, M., Luftdruck bei Infanteriegeschossen. D. m. W. (1915), 1102.
276. Reverdin, Quelques expériences sur les effects du fusil Rubin. Rev. méd. de la Suisse rom. (1884).
277. Richter, E., Chirurgie der Schußverletzungen im Kriege mit besonderer Berücksichtigung kriegschirurgischer Statistik. 1874, 1877.
278. Riedel, Über Schußverletzungen im Krieg und Frieden. Corr. Bl. d. allg. ärztl. Vereins. Tübingen 1892.
279. Riedinger, Über die Wirkung moderner Projektile. Würzburg 1900.
280. Rohrer, Über die mechanische Wirkung der Projectile. Zschr. Kriegsspitals d. Geldinstitute. Budapest 1917.

281. Riedinger, Über Kontur- und Ringelschüsse. Würzburg 1900.
282. Rooks, Zur Handlungsfähigkeit Kopfverletzter. Dtsch. Zschr. ger. Med., 20 (1933), 201—206.
283. Rücker, Experimentelle und kasuistische Beiträge zur Lehre von der Höhlenpression bei Schußverletzungen des Schädels. Diss. Dorpat 1881.
284. Rüdenberg, R., Über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Impulsstärke von Verdichtungsstößen. Artill. Monatshefte (1916), 187.
285. Sachs, Über die Wirkungsweise kleinkalibriger Gewehrgeschosse. Jahrb. f. d. dtsch. Armee u. Marine (1892), 187.
286. Sanitätsberichte über die deutschen Heere im Kriege gegen Frankreich 1870/71. Hrsg. mil. med. Abtlg. kgl. preuß. Kriegsmin. Berlin 1884—1890.
287. Sarazin, Des effects produits par le projectile de fusil chassepot sur le cadavre. Gaz. méd. de Strassbourg 1867.
288. Sauerbruch, F., Brustschüsse. Beitr. Klin. Chir. **96** (1915), 489 bis 498.
289. Seldowitsch, Über Verletzungen durch japanische Geschosse. Arch. Klin. Chirg. **77**.
290. Senn, Diagnosis and operative treatment of gunshot wounds of the stomach and intestines. 1890.
291. v. Seydel, K., Lehrbuch der Kriegschirurgie. Stuttgart 1893, 1905.
292. Simon, Der Schädelschuß. (Monographie.) 1916.
293. Simon, Über Schußwunden. Gießen 1851.
294. Sitzungsberichte. Wiener Akademie der Wissenschaften, 1887—1896.
295. Slepisukow, Über Schußwunden durch Kleinkaliberflinten. Trudy astrachan. med. Inst. **2** (1933), 117—119 (russ.), Ref. Z. org. chir. **72**, 179.
296. Sozin, Kriegschirurgische Erfahrungen. Leipzig 1872.
297. Square, Gunshot wound of long, stomach and liver, abdominal section, recovery. The Lancet (1891), Vol. II, 769.
298. Ssolowjew, Zur Frage von dem hydraulichen Druck bei Schußverletzungen des Schädels. Central. Chir., 1890.
299. Schieffer, Beitrag zur Shockwirkung bei Schußverletzungen. Zschr. Chir., 1905.
300. Schjerning, Thöle, Voß, Die Schußverletzungen. Hamburg 1902, 2. Aufl., 1913, Arch. u. Atlas d. norm. u. pathol. Anatomie. Hamburg 1913.
301. Schjerning, Die Schußverletzungen der modernen Feuerwaffen. Chir. Kongr. 1901.
302. Schlott, Über die Einwirkung der Gewehrgeschosse auf den menschlichen Körper. Dtsch. mil. ärztl. Zschr. (1879), 281 u. 414.
303. v. Schmieden, Bauch. In: Borchard, A. u. v. Schmieden, Die deutsche Chirurgie im Weltkrieg 1914—18. 2. Aufl. des Lehrbuches der Kriegschirurgie. Leipzig 1920, II. Bd., 657—724.
304. v. Schmieden, Bauchschüsse. Beitr. klin. Chir. **96** (1915), 511—521.
305. Schmidt, M., Beiträge zur allgemeinen Chirurgie der Schußverletzungen im Kriege. Diss. Dorpat 1880.
306. Schröder, H., Die Kriegsverletzungen der Kiefer. In: Borchard, A. und v. Schmieden, Die deutsche Chirurgie im Weltkrieg 1914—18. 2. Aufl. des Lehrbuches der Kriegschirurgie. Leipzig 1920, II. Bd., 503—535.
307. Schultén, Skottfraktur of tibia och fibula zämte lesion af art. peronee och tilhörende vener. Finska läkaresälsk handl. (1888), 28.
308. Schum, H., Einführung in die Wehrchirurgie. Ein Leitfaden. Wehrmedizin, Bd. 1, Stuttgart 1935, 251.
309. Schum, H., Wandlungen in der Kriegschirurgie. 3 Tle. Chirurg 8 (1936), 193—201, 237—241, 354—359.
310. Schwartz, Des plaies pénétrantes du crâne par les projectils de petit calibre. Rev. gén. de chir. et thér (1889), 16.

311. Stargardt, Schwere Verletzung durch ein englisches Infanteriegeschoß. D. m. W. (1915), 635.
312. Stargardt, Wirkung des englischen Infanteriegeschosses. D. m. W. (1915), 573, M. m. W. (1914), 52.
313. Steffens, W., Herzsteckschüsse, Beobachtungen durch fast zwei Jahrzehnte an 109 Schußverletzten des Weltkriegs. (Arbeit und Gesundheit, Hrsg. v. Martineck, H. 27). Leipzig 1936, 332.
314. Steinberg, Die mechanische Wirkung der Mantelgeschosse. Wojenno. med. journ. St. Petersburg 1892.
315. Stevenson, W. F., Wounds in War, the Mechanism of their Production and their Treatment. New York 1898.
316. Stich, R., Gefäßverletzungen und deren Folgezustände. (Aneurysma.) In: Borchard, A. und v. Schmieden, Die deutsche Chirurgie im Weltkrieg 1914—18, 2. Aufl. des Lehrbuches der Kriegschirurgie. Leipzig 1920, II Bde., 238—258.
317. Stitt, Report on Wounds by Mannlicher bullets. The med. Rec. New York 1892.
318. Strohmeyer, Maximen der Kriegsheilkunde. Hannover 1861.
319. Talavera, Elquete, contribucion al e studio de la accion del projectil Mannlicher. Santiago de Chile 1892.
320. Thurnwald, Die Wirkung der modernen Kleinkaliber-Mantelgeschosse im Vergleich mit den früheren Weich- und Hartblei-Projektilen vom militärärztlichen Standpunkt aus betrachtet. Streff. öster. militär. Zschr. (1890), Nr. 9.
321. Tilmann, Schädelschüsse. Beitr. klin. Chir. **96** (1915), 454—467.
322. Tilmann, Über Hirnverletzungen durch stumpfe Gewalt und ihre Beziehung zu den Brüchen des knöchernen Schädels. Arch. Klin. Chir., 66.
323. Tilmann, Über Schußverletzungen. In: Gedenkschrift für L. v. Leuthold, Bd. II.
324. Tilmann, Zur Theorie der Schädelschüsse. D. mil. ärztl. Zschr. (1900).
325. Treazy, Compound comminuted fractures. Times and Register 1893.
326. Urie, A case of gunshot wound of important abdominal viscera with recovery. Bost. Journ. (1850), 318.
327. Utzschneider, S., Die Wirkung der Spitzgeschosse auf Menschen. Nach Versuchen v. Prof. B. Fessler aus den Jahren 1906—1908. Diss. München 1926 (1927).
328. Vaslin, Études sur les plaies par armes à feu. Paris 1872.
329. Verchére, Des plaies de L'intestin par armes à feu de petit calibre. Rev. d. science méd. 1888, XXXII, 1.
330. Verletzungen durch das neue (englische) Kleinkaliber-Gewehr. Dtsch. mil. ärztl. Zschr., 1894.
331. Die Verluste im nächsten Krieg. Vedette 1891.
332. zur Verth, M. und K. Scheele, Über Signalpistolenschüsse. Dtsch. Zschr. Chir. **32** (1891), 394.
333. Verwundung durch ein kleinkalibriges Geschoß. Mil. ärztl. Wochenblatt (1891), 2166.
334. Vincent, Considérations sur les caractéres anatomiques et sur le traitement des plaies par coup de feu de la moelle épiniére. Rev. de chir. 1892, 2.
335. Vogel, Zu den Untersuchungen über Schußverletzungen und die Wirkung der modernen Handfeuerwaffen. Bonn 1876.
336. Wagner, Beiträge zur Kenntnis der Geschoßwirkung des kleinkalibrigen Gewehres. (Klin. Zeit- u. Streitfragen, VI. Bd., H. 8 und 9), Wien und Leipzig 1892.
337. Wagner, Die Aseptik in der Kriegschirurgie. (Volkmanns klin. Vorträge, Neue Folge, Nr. 65—66), 1893.
338. v. Walzel, Kasuistik der Geschoßwirkung. **91**, 167.
339. Weigner, Die 8-mm-Handfeuerwaffe in Österreich-Ungarn. Wien 1891.

340. Wessely, K., Die Verwundungen des Auges (einschl. Orbita, Lider und Sehbahn). In: Borchard, A. und v. Schmieden, Die Deutsche Chirurgie im Weltkrieg 1914—18. 2. Aufl. des Lehrbuches der Kriegschirurgie. Leipzig 1920, II. Bd., 462—484.
341. Weygand, Die neue deutsche Gewehrfrage. Berlin 1893.
342. Westenhöfer, M., Zur Geschichte der kriegspathologischen Sammlung in Berlin. Der Dtsch. Militärarzt, **1** (1936), 248.
343. Wille, Das kleinste Gewehrkaliber. Berlin 1893.
344. Wilhelm, G. P., The Gerlich Rifle and Bullet cf. Vol. XIII, 264 ff. Washington 1933.
345. Wilson, Louis B., Dispersion of Bullet Energy in Relation to wound effects. The Military Surgeon. Washington, **49** (1921), 241—251.
346. Wilson, L. B., The Medical Department of the U.S.-Army in the world war cf. Vol. XV, Part. I, p. 39 sequ. Washington 1927.
347. Wolozkoi, Das Gewehrfeuer im Gefecht. Darmstadt 1883.
348. Wolozkoi, Das kleine Kaliber und das weittragende Gewehr. Darmstadt und Leipzig 1889.
349. Wolzendorff, Beiträge zur Geschichte der Kriegschirurgie. (15., 16. und 17. Jh.). D. m. W. (1892), 550.
350. Woodruff, C. E., The causes of the explosive effect of modern small caliber bullets. New York Journ. (1898), LXVII, 593—601.
351. Worthington, A. M., A Study of splashes. London 1908, 1—125.
352. The Wounds caused by small-bore bullets. The lancet (1892), II, 1356.
353. The Wounds inflicted by the Lee-Metford rifle. The Brit. med. Journ. (1893), II, 852.
354. v. Wuich, Betrachtungen über die Wirkungsfähigkeit des Repetiergewehres Modell 88.
355. v. Wuich, Beiträge zur Theorie der Wirkung der Geschosse. (Mitteilung über Gegenstände des Artillerie- und Geniewesens, H. 1). Wien 1893.
356. Zimmermann, E., Über einzigartige Sprengwirkung bei Schüssen in der Gegend des Beckenausganges. Beitr. klin. Chir. **101** (1916), 391—396.
357. v. Zoege-Manteuffel, Kriegschirurgische Erlebnisse aus der Friedenspraxis. Arch. klin. Chir. (1888), 738 ff.

Lebenslauf.

Ich wurde am 1. Juli 1911 in Herford als Sohn des Predigers Wilhelm Wilms und seiner Frau Frieda, geb. Siegel geboren. Nachdem ich 1930 an der Oberrealschule in Stolp/Pom. die Reifeprüfung bestanden hatte, begann ich das Medizinstudium in Königsberg, verbrachte das 2. Semester in Wien und das 3.—5. wieder in Königsberg, wo ich 1933 das Physikum ablegte. Während der klinischen Semester war ich in Berlin, wo ich im Herbst 1936 die ärztliche Prüfung abschloß. Außer 4 Monaten an der III. Medizinischen Universitäts-Poliklinik absolvierte ich mein Medizinalpraktikantenjahr an der Chirurgischen Universitätsklinik Berlin, Ziegelstraße, An dieser bin ich seit meiner Approbation am 1. September 1937 außerplanmäßiger Assistent.